



## **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Civil

### **“Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaustro”**

Trabajo de Titulación, previo a la obtención  
del Título de Ingeniero Civil

#### **DIRECTOR:**

Ing. Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco. M.Sc. PhD.  
C.I. 0301500476

#### **AUTORES:**

Jessica Liliana Angamarca Medina  
C.I. 0105478390

Diego Xavier Caguana Gutiérrez  
C.I. 0105739460

**Cuenca - Ecuador**  
2018

## RESUMEN

Algunas de las obras construidas por la empresa Elecaustro en la región presentan daños estructurales y funcionales debido a procesos de deterioro que se presenta en el hormigón y acero de refuerzo por lo que es imprescindible realizar ensayos no destructivos y semidestructivos, para determinar las patologías principales, las causas de deterioro y grado de severidad de las infraestructuras hidráulicas. Ejemplos específicos de infraestructuras a ser evaluadas: azud Escalera de Peces, presa El Labrado, Reservorio de Tuñi, canal de conducción y presa Chanlud.

Los ensayos utilizados que proporcionaron resultados patológicos lo suficientemente confiables fueron: ensayos de esclerometría, núcleos perforados, potencial de corrosión, ensayo de adherencia, ultrasonido, termografía infrarroja, carbonatación y vida remanente, y levantamientos estructurales.

El diagnóstico de estos procesos patológicos se efectuó mediante inspecciones visuales, toma de muestras y una documentación fotográfica para cada caso. Se realizaron análisis de los datos tomados en campo para proseguir con la elaboración de matrices de solución e intervención en las cuales se puede encontrar la patología particular y el tratamiento recomendado ya sea: restauración, reconstrucción, rehabilitación, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo.

Posteriormente a las propuestas de rehabilitación, se determinó que la infraestructura más deteriorada es el azud Escalera de Peces, ya que existen causas como la abrasión y la exposición de la armadura que está afectando al pie del azud y necesita acciones emergentes. Se han propuesto métodos de rehabilitación para todas las infraestructuras hidráulicas, que sirvan de refuerzo y con el fin de garantizar su funcionalidad ante sucesos posteriores de deterioro.

**Palabras Claves:** Patología, Infraestructura, Ensayos no destructivos, Ensayos semidestructivos, Diagnóstico, Tratamiento, Funcional, Análisis, Matrices.

## ABSTRACT

Some of the works constructed by the company Elecaastro in the region present structural and functional damages due to deterioration processes that occur both in the concrete and in the reinforcing steel; It is therefore essential to carry out non-destructive and semi-destructive tests to determine the main pathologies, the causes of deterioration and the degree of severity of the hydraulic infrastructures. Specific examples of infrastructures to be evaluated: azud Escalera de Peces, El Labrado dam, Tuñi Reservoir, conduction channel and Chanlud dam.

The tests used that provided sufficiently reliable pathological results were: sclerometry tests, perforated cores, corrosion potential, adhesion test, ultrasound, infrared thermography, carbonation and remanent life, and structural surveys.

The diagnosis of these pathological processes was carried out by visual inspection, sampling and photographic documentation for each case. Analyzes of the data taken in the field were carried out to continue with the elaboration of solution and intervention matrices in which the particular pathology and the recommended treatment can be found, such as: restoration, reconstruction, rehabilitation, preventive maintenance or corrective maintenance.

Subsequent to the rehabilitation proposals, it was determined that the most deteriorated infrastructure is the Escalera de Peces, as there are causes such as abrasion and exposure of the armor that is affecting the foot of the dam and needs emerging actions. Rehabilitation methods have been proposed for all hydraulic infrastructures, which serve as reinforcement and in order to guarantee their functionality in the event of subsequent deterioration events.

**Key Words:** Pathology, Infrastructure, Non-destructive tests, Semidestructive tests, Diagnosis, Treatment, Functional, Analysis, Matrices.

## INDICE

CAPITULO 1.....	18
1. INTRODUCCION .....	18
1.1. Antecedentes.....	18
1.2. Definición del problema.....	19
1.3. Justificación .....	20
1.4. Alcance.....	20
1.5. Objetivos .....	21
1.5.1. Objetivo principal .....	21
1.5.2. Objetivos específicos.....	21
CAPITULO 2.....	22
2. MARCO TEORICO .....	22
2.1. Patología .....	22
2.2. Estudio patológico .....	22
2.3. Causas del deterioro de los materiales.....	24
2.4. Intervenciones .....	25
2.5. Levantamiento estructural.....	26
2.6. ENSAYOS SEMI DESTRUCTIVOS.....	26
2.6.1. Ensayo de núcleos perforados .....	26
2.6.2. Ensayo de carbonatación y vida remanente .....	29
2.6.3. Ensayo de adherencia .....	32
2.7. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	36
2.7.1. Ensayo esclerométrico .....	36
2.7.2. Ensayo de ultrasonido .....	38
2.7.3. Ensayo potencial de corrosión.....	44
CAPITULO 3.....	49
3. METODOLOGIA PARA LA EVALUACION PATOLOGICA DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICAS.....	49
3.1. Levantamiento estructural.....	49
3.2. Ensayo de carbonatación y vida remanente .....	57
3.3. Ensayo de potencial de corrosión.....	58
3.4. Ensayo de adherencia .....	59
3.5. Ensayo de esclerometría.....	61
3.6. Ensayo de núcleos perforados.....	62
3.7. Termografía infrarroja .....	65



3.8. Ensayo de ultrasonido .....	66
CAPITULO 4.....	68
4. ANALISIS DE RESULTADOS .....	68
4.1. Análisis de resultados de Presa El Labrado .....	68
4.1.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente .....	69
4.1.2. Ensayo de potencial de corrosión.....	70
4.1.3. Ensayos de adherencia .....	72
4.1.4. Termografía infrarroja .....	73
4.1.5. Grado de severidad.....	76
4.2. Análisis de resultados del Canal de Conducción .....	77
4.2.1 Profundidad de carbonatación y vida remanente .....	77
4.2.2. Ensayo de esclerometría.....	79
4.2.3 Ensayos de adherencia.....	82
4.2.4 Ensayos de ultrasonido.....	83
4.2.5. Grado de severidad .....	84
4.3. Análisis de resultados del Reservorio de Tuñi .....	84
4.3.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente .....	85
4.3.2. Potencial de corrosión.....	87
4.3.3. Ensayos de adherencia .....	89
4.3.4. Ensayo de esclerometría .....	90
4.3.5. Ensayo de núcleos perforados .....	95
4.3.6. Ensayo de ultrasonido .....	96
4.3.7. Grado de severidad.....	97
4.3.8. Termografía infrarroja .....	97
4.4. Análisis de resultados de Presa Chanlud.....	100
4.4.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente.....	101
4.4.2. Potencial de corrosión.....	103
4.4.3. Ensayos de adherencia .....	106
4.4.4. Grado de severidad.....	107
4.5. Análisis de resultados de Azud Escalera de Peces.....	107
4.5.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente.....	108
4.5.2. Ensayos de adherencia .....	109
4.5.3. Ensayos de esclerometría.....	111
4.5.4. Ensayo de núcleos perforados .....	112
4.5.5. Grado de severidad.....	114
CAPITULO 5.....	115

5. MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCIÓN .....	115
5.1. Matrices de solución e intervención de Presa El Labrado .....	115
5.2 Matrices de solución e intervención de Canal de Conducción .....	118
5.3 Matrices de solución e intervención de Reservorio de Tuñi.....	119
5.4 Matrices de solución e intervención de Presa Chanlud .....	121
5.5 Matrices de solución e intervención de Azud Escalera de Peces .....	123
CAPITULO 6.....	125
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	131
8. ANEXOS .....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ensayos semi destructivos y no destructivos para la evaluación de los materiales de las distintas estructuras .....	24
Tabla 2.2 Factor de corrección por esbeltez .....	29
Tabla 2.3 Calidad del hormigón en función de K.....	31
Tabla 2.4 Clasificación del concreto según la velocidad de transito ultrasónica.....	44
Tabla 2.5 Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda .....	44
Tabla 2.6 Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso. ....	44
Tabla 2.7 Criterio de Stratful para potenciales de corrosión como porcentaje de probabilidad de corrosión .....	47
Tabla 2.8 Potenciales de corrosión como criterio de la condición de la varilla .....	48
Tabla 2.9 Criterio de probabilidad de corrosión .....	48
Tabla 3.1 Ensayos semi destructivos y no destructivos realizados en las instalaciones.....	50
Tabla 4.1 Determinación de la profundidad de carbonatación.....	69
Tabla 4.2 Vida remanente de la pasamanería.....	69
Tabla 4.3 Determinación de corrosión electroquímica .....	70
Tabla 4.4 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia .....	72
Tabla 4.5 Análisis del grado de severidad.....	76
Tabla 4.6 Determinación de la profundidad de carbonatación.....	78
Tabla 4.7 Vida remanente de la pasamanería .....	78
Tabla 4.8 Determinación de la resistencia a compresión mediante esclerometría .....	80
Tabla 4.9 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia .....	82
Tabla 4.10 Determinación de la condición del hormigón mediante ultrasonido .....	83
Tabla 4.11 Análisis del grado de severidad.....	84
Tabla 4.12 Determinación de la profundidad de carbonatación.....	85
Tabla 4.13 Vida remanente del reservorio y la parte baja de la pasamanería .....	86
Tabla 4.14 Determinación de corrosión electroquímica .....	87
Tabla 4.15 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia .....	89
Tabla 4.16 Determinación de la resistencia a compresión en el reservorio mediante esclerometría.....	91

Tabla 4.17 Determinación de la resistencia a la compresión en la parte baja de la pasamanería mediante esclerometría.....	93
Tabla 4.18 Ensayo de núcleos perforados.....	95
Tabla 4.19 Resistencia a la compresión corregida.....	95
Tabla 4.20 Determinación de la condición del hormigón mediante ultrasonido .....	96
Tabla 4.21 Determinación de la profundidad de las fisuras mediante ultrasonido .....	97
Tabla 4.22 Análisis del grado de severidad.....	97
Tabla 4.23 Determinación de la profundidad de carbonatación .....	101
Tabla 4.24 Vida remanente de la pasamanería.....	102
Tabla 4.25 Determinación de corrosión electroquímica .....	103
Tabla 4.26 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia ...	107
Tabla 4.27 Análisis del grado de severidad.....	107
Tabla 4.28 Profundidad de carbonatación .....	108
Tabla 4.29 Vida remanente de la pasamanería.....	109
Tabla 4.30 Determinación del esfuerzo a tracción mediante adherencia .....	110
Tabla 4.31 Determinación de la resistencia a la compresión mediante esclerometría .....	111
Tabla 4.32 Ensayo a compresión de núcleos de concreto .....	113
Tabla 4.33 Análisis del grado de severidad.....	114
Tabla 5.1 Acciones emergentes.....	115
Tabla 5.2 Acciones Inmediatas .....	116
Tabla 5.3 Acciones a mediano plazo.....	117
Tabla 5.4 Acciones emergentes.....	118
Tabla 5.5 Acciones inmediatas .....	118
Tabla 5.6 Acciones a mediano plazo.....	119
Tabla 5.7 Acciones inmediatas .....	119
Tabla 5.8 Acciones emergentes.....	120
Tabla 5.9 Acciones a mediano plazo.....	121
Tabla 5.10 Acciones emergentes.....	121
Tabla 5.11 Acciones inmediata .....	122
Tabla 5.12 Acciones a mediano plazo.....	122
Tabla 5.13 Acciones emergentes.....	123
Tabla 5.14 Acciones inmediatas.....	124
Tabla 5.15 Acciones a mediano plazo.....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Zona carbonatada dk constante.....	30
Figura 2.2 Superficie de exposición constante, pero con una irregularidad. ....	30
Figura 2.3 Zona carbonatada constante e irregular.....	31
Figura 2.4 Ensayo de adherencia. ....	32
Figura 2.5 Proceso de semi perforación del ensayo.....	33
Figura 2.6 Colocación del disco. ....	34
Figura 2.7 Medición de la magnitud de tensión.....	34
Figura 2.8 Posibles tipos de falla durante la prueba Pull off. ....	35
Figura 2.9 Martillo para ensayo de hormigón .....	37
Figura 2.10 Mecanismo del esclerómetro.....	37
Figura 2.11 Ultrasonido.....	39
Figura 2.12 Posiciones del ultrasonido. ....	41
Figura 2.13 Método transmisión directa.....	41

Figura 2.14 Grafica tiempo de transito indirecto vs distancia.....	42
Figura 2.15 Profundidad de la fisura.....	43
Figura 2.16 Inclinación de la fisura.....	43
Figura 2.17 Corrosión de la varilla.....	45
Figura 2.18 Media Celda.....	46
Figura 2.19 Equipo Completo de potencial de corrosión.....	46
Figura 3.1 Entrada a la Presa el Labrado.....	50
Figura 3.2 Eflorescencia y fisuras en el azud.....	50
Figura 3.3 Vegetación en el azud.....	51
Figura 3.4 Vegetación, eflorescencia y fisuras en el azud.....	51
Figura 3.6 Oquedades en el Azud.....	51
Figura 3.5 Eflorescencia y algas.....	51
Figura 3.7 Fisuras en la pasamanería.....	51
Figura 3.8 Fisuras en el pasamanería y material vegetal.....	51
Figura 3.9 Fisuras y desprendimiento del recubrimiento.....	52
Figura 3.10 Fisuras y material vegetal en la pasamería.....	52
Figura 3.11 Paramento aguas arriba.....	52
Figura 3.12 Canal de conducción km 0.....	52
Figura 3.13 Canal de conducción cubierto de material vegetal.....	52
Figura 3.14 Canal cubierto por deslizamientos en el sector.....	53
Figura 3.15 tramo del canal ubicado debajo de la superficie.....	53
Figura 3.16 Deslizamiento sobre el canal.....	53
Figura 3.17 Quebrada enrocada.....	53
Figura 3.18 Panorámica del Reservorio de Tuñi.....	53
Figura 3.19 Reservorio de Tuñi.....	54
Figura 3.20 Fisuras y eflorescencia.....	54
Figura 3.21 Pasamanería y parte baja.....	54
Figura 3.22 Parte baja de la pasamanería.....	54
Figura 3.23 Desprendimientos en la parte baja de la pasamería.....	54
Figura 3.24 Material vegetal en la parte baja.....	54
Figura 3.25 Parte con material vegetal, eflorescencia y fisuras.....	55
Figura 3.26 Entrada a la Presa Chanlud.....	55
Figura 3.27 Azud tipo arco.....	55
Figura 3.28 material vegetal en las juntas de las pasamanería.....	55
Figura 3.29 Fondo de la pasamería.....	55
Figura 3.30 varilla sin recubrimiento.....	56
Figura 3.31 Varillas expuestas al final de la pasamanería.....	56
Figura 3.32 panorámica del pie del azud afectado.....	56
Figura 3.33 aceros expuestos por el desprendimiento del recubrimiento.....	56
Figura 3.34 Aceros corroídos y expuestos.....	56
Figura 3.35 pie del azud.....	57
Figura 3.36 Descascaramiento en el muro.....	57
Figura 3.37 Desprendimiento del hormigón.....	57
Figura 3.38 espesor carbonatado del hormigón.....	57
Figura 3.39 Materiales utilizados para la media celda.....	58
Figura 3.40 Acceso al acero en la pasamanería.....	58
Figura 3.41 Conexión de los cables en las terminales del voltímetro.....	59
Figura 3.42 Toma de datos cada 1.20 m.....	59
Figura 3.43 Pull Off Proceq.....	59
Figura 3.44 Pastillas redondas de 5 cm de diámetro.....	59

Figura 3.45 Epóxico sikadur 32 A y B .....	60
Figura 3.46 Mezcla y pegado de la pastilla.....	60
Figura 3.47 Extracción de la pastillas con el Pull Off.....	60
Figura 3.48 Resultado del esfuerzo a tensión.....	60
Figura 3.49 Tipo de Falla .....	60
Figura 3.50 Esclerómetro Proceq .....	61
Figura 3.51 Esclerómetro Taijia.....	61
Figura 3.52 Pulido en el Canal de Conducción.....	62
Figura 3.53 Pulido en el reservorio.....	62
Figura 3.54 Puntos específicos para la esclerometría .....	62
Figura 3.55 resultado del índice esclerométrico.....	62
Figura 3.56 Detector de Acero de refuerzo .....	63
Figura 3.57 Diagrama de los aceros de refuerzo .....	63
Figura 3.58 Marcado de aceros .....	64
Figura 3.59 Colocado de perno de fijación .....	64
Figura 3.60 Llenado de bomba manual .....	64
Figura 3.61 Extracción de núcleo .....	64
Figura 3.62 Toma de medidas de núcleo.....	64
Figura 3.63 Perfilado de núcleo .....	64
Figura 3.64 Prensa de Laboratorio de Suelos .....	65
Figura 3.65 MI 6401 Poly .....	65
Figura 3.66 Multímetro digital.....	65
Figura 3.67 Obtención de temperatura de la presa .....	66
Figura 3.68 Cámara termográfica .....	66
Figura 3.69 Software GUIDE Report Express .....	66
Figura 3.70 Ultrasonido con sus accesorios .....	67
Figura 3.71 Profundidad de grieta .....	67
Figura 3.72 Profundidad de grieta .....	67
Figura 3.73 Condición del hormigón .....	67
Figura 4.1 Ubicación de los puntos del ensayo de adherencia .....	68
Figura 4.2 Ubicación de ensayos de carbonatación y potencial de corrosión.....	68
Figura 4.3 vida remanente de la pasamanería con un recubrimiento de 20 mm .....	70
Figura 4.4 vida remanente de la pasamanería con un recubrimiento de 50 mm.....	79
Figura 4.5 Ubicación de los ensayos de esclerometría y carbonatación.....	84
Figura 4.6 Ensayos de Potencial de corrosión, ultrasonido y adherencia.....	84
Figura 4.7 ubicación de los ensayos de extracción de núcleos, carbonatación, adherencia y esclerometría.....	85
Figura 4.8 vida remanente del reservorio .....	87
Figura 4.9 vida remanente del piso de la parte baja de la pasamanería .....	87
Figura 4.10 Ubicación de los puntos de los ensayos de adherencia. ....	100
Figura 4.11 Ubicación de los puntos de los ensayos de adherencia y carbonatación. ....	101
Figura 4.12 Vida remanente de la pasamanería. ....	102
Figura 4.13 Ubicación de los ensayos estructurales. ....	108
Figura 4.14 Vida remanente de la pasamanería. ....	109

## Índice de Imágenes

Imagen 4.1 Presa El Labrado, aguas arriba. ....	73
Imagen 4.2 Presa El Labrado, azud. Temperatura normal del Azud de 14,6. Temperatura de 9,2 representa una filtración pequeña. ....	74
Imagen 4.3 Presa El Labrado, azud. Partes rojas representan vegetación, partes negras filtraciones y el amarillo son los bloques de piedra. ....	74
Imagen 4.4 Presa El Labrado, azud. Partes rojas representan vegetación, partes negras filtraciones y partes amarillas bloques de piedra. ....	75
Imagen 4.5 Presa El Labrado, azud. Escurrecimiento de agua por medio de filtración. ....	75
Imagen 4.6 Presa El Labrado, paramento aguas arriba. Hormigón sano sin cambios bruscos de temperatura. ....	76
Imagen 4.7 Reservorio de Tuñi. Punto S3 bajo de temperatura porque el agua acaba de bajar. Hormigón homogéneo. ....	98
Imagen 4.8 Reservorio de Tuñi. Sin cambios de temperatura. ....	98
Imagen 4.9 Reservorio de Tuñi. Puntos S1 y S2 pertenecen a hormigón homogéneo, punto S3 fisura y punto S4 vegetación. ....	99
Imagen 4.10 Reservorio de Tuñi. Puntos S1 y S2 pertenecen a hormigón homogéneo, punto S3 y S4 fisuración. ....	99
Imagen 4.11 Reservorio de Tuñi. Puntos S2, S4 y S5 pertenecen a hormigón homogéneo, punto S1 fisura y punto S3 vegetación. ....	100

## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Jessica Liliana Angamarca Medina en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaastro”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre de 2018



---

Jessica Liliana Angamarca Medina  
C.I: 0105478390

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Jessica Liliana Angamarca Medina, autora del trabajo de titulación “Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaastro”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, octubre de 2018



Jessica Liliana Angamarca Medina  
C.I: 0105478390



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Diego Xavier Caguana Gutiérrez en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaastro”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre de 2018



Diego Xavier Caguana Gutiérrez  
C.I: 0105739460

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Diego Xavier Caguana Gutiérrez, autor del trabajo de titulación “Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de Elecaastro”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, octubre de 2018



Diego Xavier Caguana Gutiérrez  
C.I: 0105739460

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme en este largo camino, por darme la fuerza de seguir adelante y no desmayar con los problemas que se atravesaban, por iluminarme cada día para lograr culminar este trabajo.

A Rolando Angamarca Quinteros, mi padre que inculco en mi valores de respeto, de tolerancia, responsabilidad y deseos de superación, gracias a su sacrificio hoy puedo dar este paso tan importante en mi vida.

A María Eugenia Medina León, mi madre que me ofreció todos sus consejos, amor, comprensión y sobre todo por su paciencia, por apoyarme en momentos difíciles y estar en momentos importantes.

A Paola y Gabriela, mis hermanas que siempre me dieron su apoyo, y sus buenos deseos de superación.

A Xavier Caguana Gutiérrez, mi novio por brindarme los mejores momentos de mi vida, por estar conmigo apoyándome incondicionalmente, por todo su amor, su compañía y por cada día ser mejor persona.

A Angelica Cabrera Idrovo, por ser mi cómplice de vida, por apoyarme en cada decisión, por darme los mejores consejos para cada momento, por ser la mejor amiga del planeta.

A Camila, Matías, Sebastián, Gabriel, Santiago, mis hermosos sobrinos que siempre llenan mi vida de alegrías y ocurrencias.

Gracias Dios por todas estas personas maravillosas, Las amo.

Lili.

## AGRADECIMIENTOS

A ELECAUSTRO, por facilitarnos realizar este trabajo de titulación.

A Ing. Daniel Mogrovejo, nuestro tutor del trabajo de titulación por el apoyo brindado en el transcurso de este trabajo, gracias por todas las enseñanzas y consejos que nos sirvieron para culminar nuestro pregrado.

A Ing. Sebastián Montesdeoca, ingeniero de ELECAUSTRO por proporcionarnos el material suficiente y siempre estar pendiente de nuestros alcances.

A Ing. Gabriel García, por proporcionarnos equipos necesarios, y contactarnos con su equipo de trabajo, su ayuda fue muy útil para realizar este trabajo de titulación.

Lili.

## DEDICATORIA

A Dios por darme fuerza cuando muchas veces casi abandono esta carrera que fue difícil, pero me ayudo a lograr culminarla con éxito.

En especial para mi abuelita, estoy seguro que desde el cielito estas orgullosa de mí.

A mi familia, a mi madre que siempre estuvo a mi lado apoyando cuando más la necesite, a mi padre por apoyarme y querer lo mejor para mí, y a mi hermano que cuando lo necesite siempre estaba presente con sus buenos consejos. También un agradecimiento de todo corazón a mi compañera en este trabajo de titulación que aparte de ser una muy buena persona, será una excelente compañera de vida.

A mis amigos que me apoyaron siempre que necesitaba de su ayuda.

Xavier.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi director de este trabajo de titulación el Ing. Daniel Mogrovejo por su apoyo y por lo que he aprendido de él en toda mi carrera.

Agradezco a mi querida familia por estar siempre al pendiente en el transcurso de toda mi carrera.

También quisiera agradecer de forma especial a todas las personas que nos ayudaron en la empresa ELECAUSTRO, en especial al Ing. Sebastián Montesdeoca ya que sin su ayuda no sería posible este trabajo.

A Ing. Gabriel García por el préstamo de los equipos, fueron de mucha ayuda, pero sobre todo por los conocimientos brindados.

Por último, quería agradecer a las personas que de una u otro manera nos ayudaron en los distintos departamentos de la Universidad de Cuenca.

Xavier.

## CAPÍTULO 1.

### INTRODUCCION

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. Antecedentes

La **Presa Lcdo. Daniel Toral Vélez** más conocida como **El Labrado** se encuentra ubicada en la cuenca alta del río Chulco, afluente del río Machángara, a una distancia de 40Km. de la ciudad de Cuenca, al noroccidente de la misma. Su construcción empezó el 12 de noviembre de 1969 y terminó en abril de 1972.

La Presa es del tipo Gravedad, en la que su estructura principal está construida de hormigón ciclópeo, complementada con un dique conformado por un enrocado recubierto de arcilla debidamente compactado.

En el año 2013 se refaccionó la pasamanería y el paramento aguas arriba de presa, ya que el paramento presentaba filtraciones y microfisuras. El paramento se impermeabilizó mediante la aplicación de mortero en las microfisuras y recubrimiento elastomérico. En el pasamano se colocó enlucido con mortero en los postes de hormigón, y en los tubos se colocó pintura para proteger del medio ambiente y así evitar su oxidación.

Con el análisis visual pudimos observar que el azud presenta filtraciones y microfisuras que requieren ser subsanadas mediante impermeabilización y también presenta vegetación que requiere limpieza.

El pasamano está constituido por columnas de hormigón y tubería de hierro de 2", estos se encuentran en buen estado a excepción del hormigón del piso que se encuentra deteriorado por lo que es necesario enlucir con mortero epóxico.

El **Canal de Conducción** va desde la presa de El Labrado, cruza por el Reservoirio de Tuñi hasta llegar a la presa de Chanlud, con una longitud total de 17,6 km. La longitud está distribuida en 7,6km que va desde la presa El Labrado hasta el Reservoirio de Tuñi, y 10 km que va desde el Reservoirio de Tuñi hasta la presa de Chanlud. El primer trato se encuentra descubierta por lo que fue objeto de nuestro estudio, se pudo divisar que el canal se encuentra con pocas fisuras, tiene un buen mantenimiento, también se pudo observar en algunos tramos existe problemas de deslaves constantes, por lo que el canal está cubierto por tapas de hormigón, y por último la vía se pudo observar la vía de acceso en malas condiciones.

El segundo tramo que va desde el reservoirio de Tuñi hasta Chanlud es un túnel debajo de la superficie, ahí en varios tramos existen problemas de deslave los cuales producen presión en las paredes, por lo que ELECAUSTRO en mayo del 2018 realizó un análisis de los daños y fue necesario colocar fibra de carbono en sus paredes para su reforzamiento, se colocó un enlucido y se impermeabilizó las fisuras. En el Anexo 11 se muestra el proceso de reforzamiento.

El **Reservorio de Tuñi** se encuentra a 7,6km de la presa El Labrado, el hormigón tiene un espesor de 10cm. No se ha realizado ningún trabajo anterior.

El análisis visual que se realizó muestra la existencia de varias filtraciones que necesitan ser impermeabilizadas. En el pasamano, así como en la parte baja del mismo se observaron aceros oxidados y el recubrimiento de las paredes se encuentra parcialmente desintegrado, por lo que es necesario enlucir con mortero epóxico y además se requiere limpieza y protección de los aceros.

La **Presa de Chanlud** se encuentra ubicada en la cuenca alta del río Machángara, a una distancia de 45 kilómetros al noroccidente de la ciudad de Cuenca. La construcción se inició en 1994 y se terminó en agosto de 1996 a cargo de la Compañía COANDES.

La presa es de tipo Arco Gravedad y toda la estructura de hormigón armado. La altura de la presa es de 51 metros, con una capacidad de almacenamiento de 17'000.000 metros cúbicos de agua, suficiente para la operación en las centrales de Saucay y Saymirín en los períodos de estiaje. La presa no ha tenido ninguna intervención y en la inspección visual se pudo constatar su buena condición estructural, la pasamanería tiene aceros que se encuentran sin su respectivo recubrimiento por lo que es necesario cubrirlos con mortero.

La **Central Hidroeléctrica Ocaña** se encuentra en la provincia del Cañar, Parroquia San Antonio de Paguancay, recinto Javín. Su construcción empezó en el año 2000 y terminó en marzo del 2012, y se requirió de seis contratos con diferentes empresas para su culminación.

El análisis visual que se realizó en el Azud Escalera de Peces indico que se encontraba en mal estado, en algunos sectores no existe recubrimiento, la armadura está totalmente expuesta, se ve claramente que existe fisuración al pie del azud; los aceros están corroídos, por lo tanto, ELECAUSTRO se vio en la necesidad de realizar una evaluación y diseño de medidas Correctivas en el Comportamiento Hidráulico y Estructural del azud.

La Evaluación Hidráulica realizada en Julio del 2018 indica tres opciones que pueden ser la causa del deterioro del hormigón del azud, tales como: 1. La acción abrasiva causada por partículas de sedimento transportadas por el agua, 2. La Cavitación y 3. La desintegración del concreto del concreto que está expuesto a flujos de mezclas con sustancias químicas. Luego de realizar los estudios se llegó a la conclusión que el deterioro del hormigón es por la primera causa mencionada.

## 1.2. Definición del problema

Existen patologías en las infraestructuras hidráulicas como fisuración, corrosión activa, oquedades, desprendimientos, eflorescencia, falta de recubrimiento. Una de las patologías observadas con gran potencial de daños es la filtración, que puede causar perdidas o fugas de agua, así como colapsos en los elementos estructurales de las infraestructuras, además, la falta de tratamiento, limpieza y mantenimiento son problemas que causan el deterioro en los hormigones, por lo tanto, se tiene que intervenir para no expandir las fallas encontradas.



### 1.3. Justificación

El presente trabajo bajo el tema de **“Evaluación patológica de infraestructuras hidráulicas de ELECAUSTRO”** ha sido desarrollado ya que algunas de las obras construidas por la empresa en la región presentan daños estructurales y funcionales debido a procesos de deterioro que se presenta en el hormigón y acero de refuerzo. Las infraestructuras que serán parte de este estudio son: Azud Escalera de Peces, Presas de Chanlud y El Labrado, Canal de conducción y Reservorio de Tuñi.

Existen diagnósticos previos de algunas de estas infraestructuras que indican el deterioro del hormigón por situaciones como fisuras y corrosión. Sin embargo, es imprescindible realizar los estudios nuevamente en estos casos y realizar nuevos estudios en otros; para dar seguimiento, planificar mantenimientos y asegurar su resiliencia y sostenibilidad de las infraestructuras más críticas de la empresa.

Es importante la determinación de las características y condiciones de los materiales, como son el hormigón y acero de refuerzo que conforman los diferentes elementos estructurales de las presas, azud, reservorios y obras complementarias. Los diagnósticos serán obtenidos con ensayos de esclerometría, núcleos perforados, potencial de corrosión, ensayo de adherencia, ultrasonido, carbonatación y vida remanente, y levantamientos estructurales; proporcionarán resultados patológicos lo suficientemente confiables, que permitirán conocer los modos de deterioro, y por ende elaborar las especificaciones para la intervención ya sea: restauración, reconstrucción, rehabilitación, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo, tomando en cuenta la más apropiada desde el punto de vista técnico, económico, y medio ambiental.

Los métodos que se van a utilizar son semi destructivos y no destructivos: En el caso de métodos semi destructivos tenemos: Núcleos perforados que consiste en determinar la resistencia a la compresión del concreto indicado. Carbonatación y vida remanente que consiste en determinar la profundidad de carbonatación del concreto en la estructura. Ensayo de adherencia que sirve para estimar la resistencia superficial del concreto y para evaluar la resistencia de la unión entre el material de reparación y el concreto reparado. En el caso de pruebas no destructivas tenemos: Potencial de corrosión que consiste en evaluar la actividad de corrosión es decir si se encuentra en estado pasivo o activo. Esclerometría que se utiliza para obtener la resistencia a compresión del concreto. Ultrasonido esta prueba se utiliza para evaluar la uniformidad y calidad del hormigón.

### 1.4. Alcance

En cada infraestructura se realizaron ensayos acordes a la accesibilidad, clima, tiempo establecido para el desarrollo del trabajo y disponibilidad de equipos y materiales alquilados. El trabajo de titulación va a servir para adquirir conocimientos del manejo de los equipos y no será un estudio profundo de las infraestructuras.

En la pasamanería de la Presa el Labrado se tomaron 5 muestras para el ensayo de carbonatación y vida remanente y 26 muestras para el ensayo de potencial de corrosión. En el Azud se realizó ensayos de termografía infrarroja y se tomó 6 muestras para el ensayo de adherencia.

En el canal de conducción se tomaron 12 muestras para el ensayo de carbonatación y vida remanente, 20 muestras para el ensayo de adherencia, 20 muestras para el ensayo de ultrasonido y 45 muestras para el ensayo de esclerometría.

En el reservorio de Tuñi se trabajó tanto en el reservorio como en la parte baja de la pasamanería donde se realizaron un total de 10 muestras para el ensayo de carbonatación y vida remanente, 20 muestras para el ensayo de potencial de corrosión, 12 muestras para el ensayo de adherencia, 80 muestras para el ensayo de esclerometría, 25 muestras para el ensayo de ultrasonido, en el reservorio se realizó también el ensayo de termografía infrarroja y 4 perforaciones de núcleos en la parte baja de la pasamanería.

En la Presa de Chanlud se realizaron ensayos en la pasamanería y en la corona del azud; en la pasamanería se tomó 6 datos para el ensayo de carbonatación y vida remanente y 50 datos para el ensayo de potencial de corrosión, en el azud se tomaron 6 muestras para el ensayo de adherencia.

En el Azud Escalera de Peces por parte de la empresa Hidrodicon se tomó 4 muestras para el ensayo de carbonatación, 27 muestras para el ensayo de adherencia, 27 muestras de esclerometría y 13 extracciones de núcleos en el pie de azud.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo principal**

Determinar las patologías principales, causas de deterioro, y su grado de severidad, en algunas de las infraestructuras civiles de la empresa ELECAUSTRO; y plantear matrices de solución e intervención para cada una de ellas.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Definir las infraestructuras más críticas a ser intervenidas.
- Definir el alcance de la evaluación para cada una de ellas.
- Realizar los ensayos de patología necesarios en cada infraestructura.
- Analizar los datos de campo, Presentar los problemas principales encontrados, y definir matrices de intervención para cada elemento estructural analizado
- Resumir el proyecto integral en formato de artículo académico para posible publicación.

## CAPÍTULO 2.

### MARCO TEORICO

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. Patología

Patología viene del griego “Pathos” enfermedad y “logos” estudio. El diccionario de la Real Academia Española define patología como un grupo de síntomas asociadas a una determinada dolencia, la patología estudia las enfermedades que se pueden dar por motivos conocidos o desconocidos entonces trasladado a términos de la construcción la patología estudia los daños causados en las edificaciones que afectan su aspecto y principalmente su funcionalidad por causas físicas, mecánicas o químicas.

La enciclopedia Broto de patologías de la construcción define patología constructiva como “la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio o en alguna de sus unidades con posterioridad a su ejecución” se debe usar la palabra patología para referirse al estudio de los problemas, su proceso y sus soluciones. (Broto, 2006).

Broto también explica que para el estudio del proceso patológico conviene recorrer la secuencia temporal del proceso patológico de forma inversa, es decir, empezar por observar el resultado de la lesión, luego el síntoma, siguiendo la evolución de la misma para así llegar a la causa, esto nos permitirá establecer la estrategia de la reparación como la hipótesis de la prevención. (Broto, 2006).

### 2.2. Estudio patológico

Se define como estudio patológico al análisis completo de un elemento para determinar la lesión y realizar las posibles reparaciones. La secuencia temporal del estudio patológico se tomó de la Enciclopedia Broto de patologías de la construcción. A continuación, se indica las partes principales del proceso:

- A.** Observación
- B.** Toma de Datos
  - Identificación de la lesión
  - Ensayos sobre los elementos constructivos
  - Instrumental necesario
- C.** Análisis del Proceso
  - Causas
  - Evolución y Seguimiento
- D.** Actuación
  - Propuestas de reparación

## Observación

Es la primera fase del proceso, la observación nos puede dar datos preliminares que sirven para detectar el efecto o daño producido en la estructura, luego de detectada la lesión se siguen los siguientes pasos:

- **Detectar la lesión.** se empieza el estudio porque se detectó una lesión.
- **Identificar la lesión.** qué tipo de lesión para proceder adecuadamente.
- **Aislar lesiones.** Para dar un procedimiento adecuado para cada caso de lesión.

## Toma de datos

Para Broto, la segunda fase implica aplicar adecuadamente la metodología de cada ensayo, para la toma de datos se recomienda ir a una inspección previa en donde se deben tomar fotos y hacer un croquis para conocer el estado actual de la estructura, para ello se siguen los siguientes pasos:

- **Toma de muestras.** Es necesario conocer los tipos de materiales que hay en la estructura para conocer el tipo de deterioro.
- **Preparación de un programa de muestreo adecuado.** Tener una buena logística para el trabajo a realizarse.
- **Posición exacta.** Anotar la posición exacta de donde se ha extraído la muestra
- **Etiquetarse.** Tomas las muestras deben estar etiquetadas

## Ensayos para la evaluación de los materiales

Para este trabajo se realizarán varios ensayos de tipo semi destructivos y no destructivos que proporcionarán resultados patológicos lo suficientemente confiables, que permitirán conocer los modos de deterioro, y por ende elaborar las especificaciones para la intervención. La tabla 2.1 muestra los distintos métodos que se realizaran para la determinación de las condiciones de los materiales como el hormigón, acero de refuerzo y mortero de unión. En una estructura de concreto armado se deben determinar características mecánicas del concreto y del acero tales como:

- Levantamiento geométrico de la estructura lo cual implica determinar las dimensiones de los elementos estructurales: secciones y cuantía de los aceros de refuerzo.
- Caracterización de la ubicación, forma, ancho y profundidad de fisuras y/o rajaduras en los elementos estructurales.
- Resistencia real del concreto,  $f'_c$ .
- Resistencia real del acero de refuerzo,  $f_y$ .
- Determinación del grado de oxidación en los aceros.
- Determinación de carbonatación del concreto.

Los ensayos semi destructivos se describen en el apartado 2.7, mientras que los ensayos no destructivos se describen en el apartado 2.6.

Tabla 2.1 Ensayos semi destructivos y no destructivos para la evaluación de los materiales de las distintas estructuras

ENSAYOS SEMI-DESTRUCTIVOS	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
Núcleos perforados	Esclerometría
Carbonatación y vida remanente	Potencial de corrosión
Adherencia	Ultrasonido
	Levantamiento estructural

## Actuación

Luego de pasar por todas las fases del proceso patológico, es decir: se observó, se tomó los datos necesarios, se analizó y estudio la evolución para llegar a la causa de la lesión y proceder a las posibles reparaciones, que es dar un tratamiento de recuperación de los materiales constructivos ya sea: el hormigón, el acero y la mampostería que sufren el deterioro. Se puede dar propuestas de reparación, en el caso de que el objetivo sea reparar el edificio de algún daño causado, o propuestas de mantenimiento, en el caso de que el objetivo sea prevenir que se produzca un daño. (Broto, 2006).

Las actuaciones que se propongan en este trabajo forman parte del capítulo 5 en el que constara de soluciones e intervenciones que tienen como misión devolver a la estructura su funcionalidad constructiva, ya sea de reparación o de mantenimiento que serán puestos en consideración para la empresa ELECAUSTRO.

## 2.3. Causas del deterioro de los materiales

Las causas del deterioro son muy variadas, existen causas directas e indirectas, por lo que se necesita hacer una clasificación tipológica para comprender. Las estructuras a base de acero y de concreto son las más afectadas por diferentes causas. Es importante conocer claramente la causa de deterioro de un material para así proceder a una reparación adecuada.

Las causas directas se clasifican en 4 grupos: (Broto, 2006)

### Mecánicas

Son los esfuerzos mecánicos superiores a los que fueron diseñados para soportar, estos esfuerzos se dan por un mal uso como sobrecargas o por un mal diseño. Las lesiones más comunes por estas causas son: deformaciones, grietas y fisuras.

### Físicas

Las causas físicas son los agentes atmosféricos como: temperatura, precipitaciones, y viento. La lluvia provoca humedades en los materiales, la temperatura provoca dilataciones y contracciones, esto también es la razón de que existan grietas y fisuras, la contaminación atmosférica provoca ensuciamiento en la fachada.

### Químicas

Las causas químicas se producen por productos procedentes tanto del mismo material como externo, las sales solubles que están en los morteros reaccionan con la humedad y se produce la eflorescencia, los contaminantes ambientales reaccionan con los minerales que están en la fachada y provoca erosiones químicas.

## **Lesiones previas**

Una causa del deterioro de un material puede ser una lesión previa que éste haya tenido, por ejemplo, una fisura puede ser una lesión previa que causa una deformación del material. Las causas indirectas pueden clasificarse como sigue: (Broto, 2006)

### **De proyecto**

Se debe a errores de diseño, de una mala elección del material, de una mala técnica y falta de disposición de distintos elementos y unidades constructivas.

### **De ejecución**

Se debe a incumplimientos de las condiciones técnicas (pliegos, especificaciones, normativa).

### **De material**

Se debe a errores durante la fabricación de un material, y éste no cumple con características físicas, mecánicas y químicas.

### **De mantenimiento**

Por falta de un mantenimiento adecuado o periódico, o puede ser por que la estructura está siendo usada para otro propósito para el que no fue diseñada.

## **2.4. Intervenciones**

En la mayoría de estructuras dañadas se tiene varias opciones, y se deberá decidir por la más conveniente, conociendo los futuros requerimientos de la estructura. A continuación, se describen algunas de las intervenciones dadas en Broto, 2006.

### **Reparación**

Reparación es un conjunto de actuaciones como: demoliciones, saneamiento y aplicaciones de nuevos materiales para devolver al elemento dañado a su funcionalidad original. Si el daño se ha descubierto a tiempo la reparación consiste en colocar productos protectores, pero en muchos casos la reparación consiste en la demolición total o parcial del elemento.

### **Rehabilitación**

Rehabilitación es una serie de fases: un proyecto para nuevos usos, un estudio patológico con diagnósticos parciales, reparaciones de diferentes unidades constructivas dañadas.

### **Prevención**

Es el conjunto de medidas que se toman para evitar la aparición de lesiones en los elementos constructivos. Un correcto mantenimiento, así como el buen uso de la estructura servirá para prevenir el deterioro de la estructura, así como de sus elementos.

## 2.5. Levantamiento estructural

El levantamiento estructural se realiza partiendo de una estructura existente, se determinan las características técnicas de la estructura, para realizar los cálculos y conclusiones correspondientes. (Antenas,1997)

Se procede a realizar una inspección visual de las obras, con ayuda de los planos estructurales que permitirán constatar los datos más relevantes de las presas como son las dimensiones, orientación, ubicación entre otras. (Hernández, 2013)

En el levantamiento estructural se deberá incluir fotos de las partes de las estructuras, así como de todas las incidencias y del proceso de toma de muestras, identificadas con el nombre de la presa, la fecha y el tipo de elemento estructural.

Para cada presa se requerirá la siguiente documentación:

### Planos

Planos generales de la edificación con especificaciones y propiedades mecánicas de los materiales.

### Levantamiento de los elementos de hormigón y acero de refuerzo

Se realiza una inspección visual de las condiciones que presentan las presas y se obtiene por medio de ensayos semi destructivos y no destructivos las características más importantes de los miembros estructurales de acuerdo con las normas correspondientes.

### Informe de evaluación

Con los resultados de los ensayos se podrá sacar conclusiones y tomar decisiones con respecto a cada presa. En caso de que sea necesario se reforzara o se dará algún tipo de mantenimiento a la estructura. (Dueñas, 2015)

## 2.6. ENSAYOS SEMI DESTRUCTIVOS

Los ensayos semi destructivos son los que afectan la superficie de los elementos estructurales a ensayar, se utilizan para diagnosticar el estado de los materiales; es decir, hormigón, acero y mampostería. Estos ensayos se realizan con el fin de extraer muestras y ser ensayadas en el laboratorio u in situ, para obtener datos como: resistencia a compresión, profundidad de carbonatación, adherencia y esfuerzo a tensión del hormigón.

### 2.6.1. Ensayo de núcleos perforados

Este ensayo brinda procedimientos estandarizados para obtener y ensayar especímenes y con ello determinar la resistencia a la compresión. Generalmente, este ensayo se realiza cuando existen dudas sobre la calidad del concreto colocado, la estructura presenta problemas de fisuras o grietas, o para brindar información sobre la resistencia en estructuras antiguas.

La norma estándar que se ocupa de este método de ensayo esta prescrita como Método de prueba estándar para obtener y probar núcleos perforados y vigas de hormigón y se encuentra en el código ASTM C 42.

La resistencia del hormigón medida por ensayos de núcleos es afectada por la cantidad y distribución de humedad en el espécimen al momento del ensayo. No existe un

procedimiento estandarizado que asegure que en el momento del ensayo tendrá la misma humedad que el hormigón en la estructura.

La resistencia medida de un núcleo, por lo general será menor que aquella del cilindro estándar adecuadamente curado, que se le realizó una prueba en el momento de la fundición. En los casos en los que los núcleos no alcancen el nivel de resistencia a compresión especificado, en el que se basan los cálculos de diseño, no será motivo de alerta, a menos que la resistencia sea demasidamente baja. En realidad, núcleos de tamaños diferentes obtenidos del mismo sector de concreto pueden mostrar variaciones en el grado de resistencia. Siempre un diseño estructural proporciona un cierto margen de seguridad, que cubre parcialmente la deficiencia originada por el tratamiento del concreto en la obra en cuanto a protección y curado. De acuerdo con el código ACI 318, el concreto representado por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si la resistencia promedio de tres núcleos es al menos 85 % de la resistencia especificada y ninguna resistencia de núcleo es menor de 75 % de la resistencia especificada. (ASTM C-42)

## Equipo

La máquina para la obtención de núcleos es un taladro que consta con una broca cilíndrica de pared delgada con corona de diamante, debe contar con un sistema de enfriamiento para la broca, que impida la alteración del concreto y el calentamiento de la misma. (El concreto en la obra, 2009)

Si el cabezal con dientes de diamante se encuentra en malas condiciones, el núcleo no va a ser cortado y sacado libremente, el taladrado debe realizarse con suficiente agua teniendo cuidado de no ocasionar daños a la estructura y con la máquina firmemente conectada al elemento estructural; de no hacerlo así los especímenes de prueba serán dañados por el calentamiento o sufrirán variaciones en el diámetro, dando resultados erróneos.

Cuando haya presencia de grietas, no bastará con tomar muestras del área agrietada, porque las mismas se caerán en pedazos. Cuando haya de probarse la resistencia a compresión, deberá obtenerse núcleos adicionales en áreas libres de grietas.

## Procedimiento

### Extracción de testigos

Se realiza la extracción de los testigos y se procede a empacarlos, utilizando tubos de PVC. Las cajas contenedoras para empacar los testigos permanecen selladas con la mayoría de las muestras sumergidas en agua, y además debe estar envuelta en plástico con burbujas de aire para brindar mayor protección.

Cada espécimen empaquetado, no debe ser marcado solamente con números, hay que identificarlos con una etiqueta con la siguiente información: nombre de la estructura, referencia de la localización de extracción, fecha de la extracción, sentido u orientación de la perforación y Número de la caja y el número total de cajas.

### Planificación de ensayos

En este paso, se planifica un único ensayo que se va a ser el de obtención de la resistencia a la compresión. Para poder ejecutar los procedimientos planificados, primero se deberá definir los patrones de corte. (Fernandez, 2012)



## Muestreo

El núcleo que se obtiene será taladrado perpendicular a la superficie y separado de juntas o bordes. La dirección en que se obtienen los núcleos, en relación con la dirección de las cargas que actúan sobre el concreto, no tiene efecto significativo en la resistencia a compresión del concreto.

## Número de núcleos

La estimación de la resistencia del concreto a compresión se hace a partir de resultados de ensayos en especímenes obtenidos de diferentes miembros estructurales (columnas, paredes, etc.) y deben tomarse al menos tres especímenes de cada elemento estructural. Se desea que el número de especímenes de ensayo sea suficientemente grande, para que sea posible calcular el valor característico de la resistencia del concreto en la estructura ( $f'_c$ ).

## Diámetro de los núcleos taladrados

El diámetro mínimo preferido del núcleo es tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Cabe recalcar que mientras más grande sea la relación diámetro a tamaño del agregado grueso, más precisa será la resistencia que se determine al ensayar el núcleo.

Longitud

La longitud preferida del espécimen extraído es entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro. Si la relación  $L/D$  del núcleo excede 2.1 hay que reducir la longitud del núcleo. Núcleos con relación  $L/D$  igual o menor que 1.75 requiere corrección para medir la resistencia. No se requiere factor de corrección de resistencia para relación  $L/D$  mayores de 1.75. Un núcleo que tiene una longitud máxima de menos del 95% de su diámetro antes de extraído o una longitud menor que su diámetro después de haber cortado sus extremos para que queden homogéneos, no deben ser ensayado.

## Condiciones de humedad

Si la estructura no va a estar expuesta a la humedad, los núcleos deberán secarse al aire (temperatura entre 14 y 27 °C) durante 7 días antes de la prueba y deberán probarse secos. Si el concreto de la estructura va a estar más que superficialmente húmedo en las condiciones de servicio, los núcleos deberán sumergirse en agua por lo menos durante 40 horas y probarse húmedos.

## Consecuencia de la obtención de núcleos en el elemento estructural

Después de la extracción de los especímenes, se debe cubrir los agujeros que quedan en la estructura, usando un concreto de mayor resistencia con un aditivo expansor para eliminar la contracción por secado.

## Aserrado de los extremos

Después de extraer el núcleo, se utiliza una sierra con disco diamantado, se corta el núcleo de tal forma que su longitud sea mayor o igual al diámetro, en el transcurso de 2 días después de su obtención.

## Cálculos

Para el cálculo de la resistencia a la compresión de cada espécimen se usa el área de la sección transversal basada en el diámetro promedio de dos medidas del espécimen. Si la relación L/D es 1.75 o menos, hay que corregir el resultado multiplicando por el adecuado factor de corrección mostrado en la tabla 2.2 a continuación, (ASTM C-42).

Tabla 2.2 Factor de corrección por esbeltez

RELACION L/D	FACTOR DE CORRECCION
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: ASTM C-42

Estos factores de corrección se aplican a concreto de baja densidad, entre 1600 y 1920 Kg/m<sup>3</sup> y para concreto de densidad normal. Si el valor no se encuentra en la tabla se debe interpolar. (Quinto,2010)

### 2.6.2. Ensayo de carbonatación y vida remanente

El hormigón endurecido tiene un Ph medio igual o superior a 12,5, es extremadamente básico. Cuando existe carbonatación el Ph puede caer hasta valores inferiores a 9, con este valor el acero quedaría desprotegido. Por lo tanto, se espera conocer si el acero está o no protegido en función del Ph del hormigón que lo rodea.

El ensayo de carbonatación por medición de fenolftaleína es el más común para la determinación del valor de Ph del hormigón. El ensayo consiste en rociar un hormigón recién fracturado (es decir, no expuesto anteriormente al aire) con una solución de fenolftaleína. Si el color del hormigón impregnado es púrpura intensa se interpreta como no carbonatado y si no cambia de color se supone carbonatado. (Fernandez,2014)

## Equipos

La fenolftaleína, de fórmula  $C_{20}H_{14}O_4$ , es un indicador de Ph que en disoluciones ácidas permanece incoloro, pero en disoluciones básicas toma un color púrpura. Hay que tener cuidado con la fenolftaleína ya que estudios recientes afirman que puede provocar cáncer y el acceso al cuerpo humano es por las vías respiratorias así que se necesita de mascarillas cuando se ocupe este material. (Fernandez,2014)

También se va a ocupar herramientas como: martillos, cincel, calibrador y jeringuillas.

## Procedimiento

### Superficie de ensayo

La superficie no necesita una limpieza anterior, se debe hacer un agujero luego para cada punto se debe tomar la siguiente información: nombre de la presa, referencia de la localización del agujero, fecha, sentido u orientación y profundidad de carbonatación.

## Planificación de ensayos

Se procede a fracturar el hormigón ya que es la manera más sencilla de detectar la carbonatación, en general cerca de un borde o extraer un núcleo en donde se sospeche que exista carbonatación. Luego se limpia el polvo residual y con ayuda de la jeringuilla se pulveriza la fenolftaleína sobre el hormigón. Las áreas carbonatadas del hormigón (Ph menor a 9) no cambiarán de color, mientras que las áreas con un Ph mayor que 9 adquirirán un color fucsia intenso.

Cabe recalcar que, si se extrae un núcleo, la zona con tono fucsia gradualmente se decolora al seguir avanzado la carbonatación, es por esto que se debe guardar en una bolsa libre del efecto de CO<sub>2</sub>.

La profundidad de carbonatación desde la superficie hasta la zona carbonatada se denomina  $d_k$  y se considera diversas formas de determinar dicha distancia. Se presenta tres formas a continuación:

### Superficie de exposición regular.

En este caso la profundidad de carbonatación tiene un valor constante.

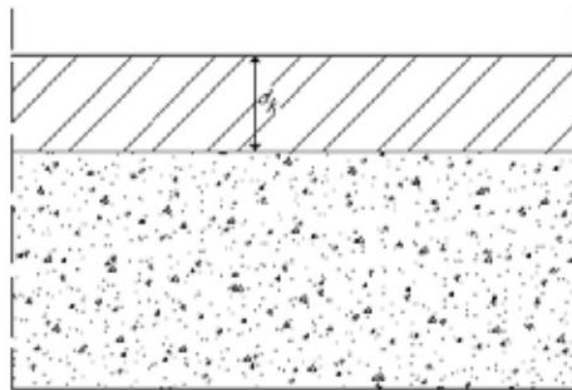


Figura 2.1 Zona carbonatada  $d_k$  constante  
Fuente: Fernández, 2014

En este caso la profundidad de carbonatación se estima como el promedio de las distintas profundidades de carbonatación.

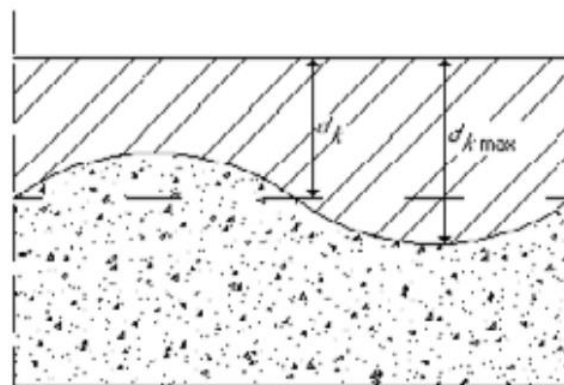


Figura 2.2 Superficie de exposición constante, pero con una irregularidad.  
Fuente: Fernández, 2014

En este caso se debe considerar el valor constante, omitiendo la irregularidad. Ver figura 2.3.

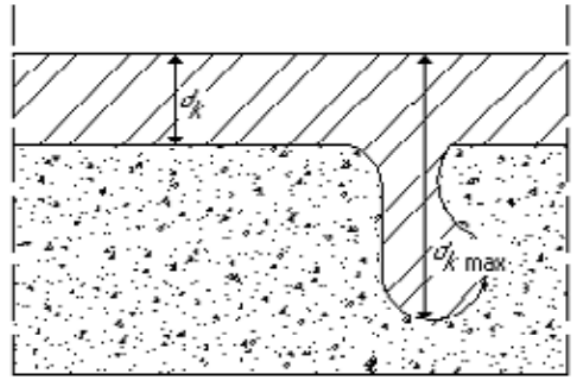


Figura 2.3 Zona carbonatada constante e irregular.  
Fuente: Fernández, 2014

No se debe medir la profundidad de carbonatación donde se observe áridos de gran tamaño. Las medidas  $d_k$  se deben tomar en forma perpendicular respecto a la superficie expuesta, y se debe aproximar al milímetro. (Monroy, 2007)

## Consecuencia de la obtención de muestras en el elemento estructural

Se debe cubrir los agujeros que quedan en la estructura usando un concreto de mayor resistencia.

## Cálculos

Se calcula los valores medios de profundidad de carbonatación en cada parte de la estructura y se documenta.

Para el cálculo de la vida remanente se utilizó el modelo cuantitativo propuesto por Tuutti k. para determinar el tiempo de vida útil de las estructuras antes de reparar, el cual presenta las siguientes ecuaciones.

$$d = k\sqrt{t} \quad Ec. 1$$

$$t = \left(\frac{d}{k}\right)^2 \quad Ec. 2$$

Con la Tabla 2.3 se determina la calidad del hormigón en función de K. (Rondón, 2005)

Tabla 2.3 Calidad del hormigón en función de K

K	Características del hormigón	Calidad del hormigón
$2 < k < 6$	Elevada compacidad, contenido de cemento $> 350$ kg/m <sup>3</sup>	Buena
$6 < k < 9$	Compacidad media, contenido de cemento entre $\geq 250 \leq 350$ kg/m <sup>3</sup>	Media
$K > 9$	Poroso, contenido de cemento $< 250$ kg/m <sup>3</sup> y elevada relación a/c	Mala

### 2.6.3. Ensayo de adherencia

Este método sirve como un medio para probar uniformemente superficies recubiertas, y evaluar e informar los resultados. Con este ensayo se determina la mayor fuerza perpendicular (en tracción) que puede soportar un área superficial antes de que se desprenda un tapón de material. La fractura se produce a lo largo del plano más débil dentro del sistema compuesto por el dispositivo de prueba, el pegamento, el sistema de recubrimiento y el sustrato. (ASTM D 4541-17)

Las normas estándar que se ocupan de este método de ensayo están prescritas como: Método de prueba estándar para la resistencia a la extracción de recubrimientos utilizando comprobadores de adhesión portátiles y se encuentra en el código ASTM D 4541-17; Método de prueba estándar para la fuerza de adherencia de retirada de recubrimientos en concreto utilizando comprobadores de adhesión portátiles de extracción y se encuentra en el código ASTM D 7234-12.

Este método de prueba es aplicable a cualquier aparato portátil que cumpla con los requisitos para determinar la resistencia al arranque de un revestimiento

Las variaciones en los resultados con el mismo recubrimiento son probables cuando se cambia cualquier parámetro de la prueba, como por ejemplo en el pegamento, el tamaño del accesorio de carga, el tiempo de extracción, las condiciones ambientales, si el recubrimiento se puntúa o el uso de un dispositivo diferente. (ASTM D 7234-12)

Es necesario realizar pruebas de adherencia con resultados mayores a 1.4 MPa, con finalidad de cumplir con lo establecido en el ACI 440-2R. En caso de no obtener valores mayores es necesario realizar anclajes adicionales.

Es uno de los métodos más conocidos y que brindan resultados más confiables, es el ensayo de adherencia, también denominado “Pull Off”. El ensayo de “Pull Off” (ver figura. 2.4) es uno de los métodos de ensayo a tracción que puede realizarse tanto en laboratorio, como “in situ”; solo se necesita disponer de una cara expuesta del elemento a ensayar, siendo aplicable a cualquier elemento estructural.



*Figura 2.4 Ensayo de adherencia.  
Fuente: Vidaud, 2014*

Este ensayo se basa en el concepto de que la fuerza de tensión necesaria para “jalar” de un disco metálico unido a una capa superficial de concreto, se relaciona con la resistencia del material, por lo tanto, este ensayo se realiza con dos propósitos fundamentales:

- Para estimar la resistencia superficial del concreto
- Para evaluar la resistencia de la unión entre el material de reparación y el concreto reparado.

Es un método que exhibe entre sus más significativas ventajas: la rapidez y economía en el proceso, la posibilidad de realizarse “in situ” con mínimo daño a la estructura, así como la disponibilidad inmediata de los resultados.

## Equipos

El extractómetro es un aparato ligero, portátil y preciso para medir la adherencia y la resistencia de tracción del hormigón tanto en laboratorio como in situ. Aumentando la presión a través de su sistema hidráulico con manivela, se puede ejercer la carga deseada sobre la muestra de forma precisa y controlada de forma prácticamente uniforme. (Daga,1996)

Además, consta con otros instrumentos fundamentales para su funcionamiento como son: Pieza de centrado, Acoplamiento, Perno de extracción, Llave del perno, Taza de rellenado de aceite, Bote de rellenado de aceite, Desarmador, Manual y Estuche. (Germann,1980)

## Procedimiento

### Superficie de ensayo

La zona de ensayo debe quedar perfectamente limpia de cualquier residuo que pueda dificultar la adherencia del disco de prueba, se debe tener en cuenta la siguiente información para cada punto donde se realiza este ensayo: nombre de la presa, referencia de la localización de extracción, fecha de la extracción, sentido u orientación de la extracción y esfuerzo ultimo (dada por maquina)

### Planificación de ensayos

Semi perforación de la zona de prueba (en donde se fijará el disco de prueba), se realiza con ayuda de una broca hueca de corona de diamante; que generalmente en fusión del tamaño del disco de prueba, es de 2 pulgadas de diámetro (ver figura 2.5); la profundidad de la perforación deberá ser mínimo de 1.5 cm.



*Figura 2.5 Proceso de semi perforación del ensayo.  
Fuente: Vidaud,2014*

Se coloca el disco sobre la superficie del concreto usando una resina epóxica (ver figura 2.6) Este material de adherencia resulta de elevada resistencia y fraguado rápido, pudiendo llegar a valores de resistencia a la tensión de alrededor de 10 MPa cuando está completamente curado. Por lo general el endurecimiento demora de 2 a 5 minutos.





Figura 2.6 Colocación del disco.  
Fuente: Vidaud, 2014

Se coloca el perno roscado al disco de “Pull Off” (ver fotografía 2.6); a este dispositivo se conecta el equipo de “Pull Off”, antes del inicio de la prueba.

Desarrollo de la prueba de “Pull Off”, en donde se mide la tensión directa aplicada al disco para desprenderlo del elemento al que había quedado adherido (ver figura 2.7). En equipos que se comercializan en el mercado, la magnitud de la tensión directa que se va aplicando según se intenta desprender el disco de prueba del sustrato, queda registrada en un monitor que se ubica en la parte frontal del equipo.



Figura 2.7 Medición de la magnitud de tensión.  
Fuente: Vidaud, 2014

La resistencia al desprendimiento de un sustrato de concreto es una propiedad importante de su rendimiento, por lo que el fallo se puede clasificar de la siguiente forma:

- **Fallo del adhesivo.** Cuando el fallo se produce en la zona de interfaz. (Figura 2.8-i/ii)
- **Fallo por cohesión.** Cuando el fallo se produce en el material de reparación o dentro del sustrato de concreto. (Figura 2.8-ii)
- **Fallo por cohesión.** Cuando el fallo se produce dentro del sustrato viejo de concreto. (Figura 2.8-iv)

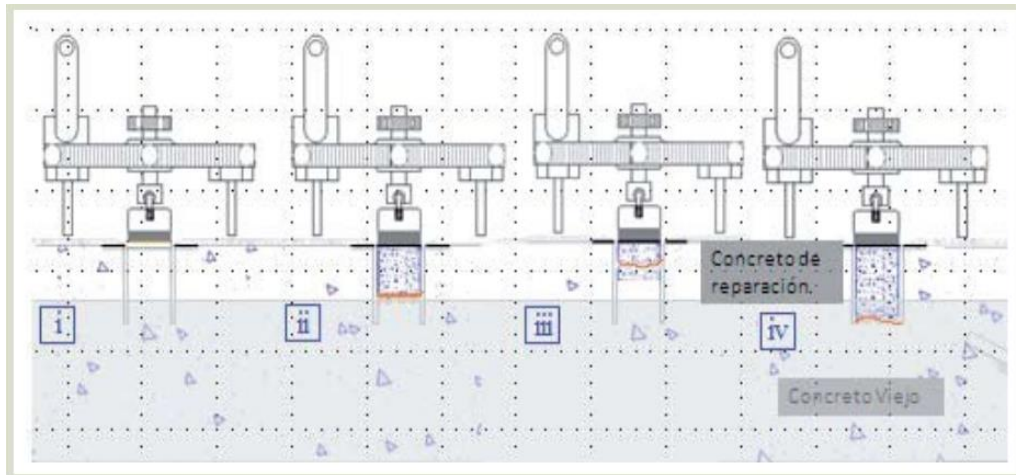


Figura 2.8 Posibles tipos de falla durante la prueba Pull off.  
Fuente: Vidaud, 2014

El fallo en el interior del material indica que la resistencia de la unión es mayor que la resistencia a la tensión del material. Normalmente se prefiere entonces el fallo en el sustrato, lo que es evidencia de que el material de reparación superpuesto se ha concebido correctamente. Es entonces el fallo adhesivo el menos deseable pues no es conveniente que falle la zona de interfaz. Por lo tanto, la falla ocurrirá a lo largo del plano más débil dentro del sistema conformado por el equipo de ensayo, el material adhesivo, el concreto del recubrimiento, y el concreto del sustrato; quedando expuesta la superficie de fractura.

Muchos factores intervienen en la variabilidad de los resultados. Pueden citarse entre los más importantes: composición y propiedades del concreto en las capas, posible degradación superficial del material debido a efectos medioambientales, material utilizado en el ensayo, tamaño máximo del agregado grueso, diámetro y espesor del disco y velocidad de aplicación de la carga. Cabe recalcar que este ensayo fue desarrollado para usarse en superficies planas. Otro factor muy importante es la presencia del acero de refuerzo, en el área a ensayar justo donde el disco hace contacto con el concreto. Esto se debe tomar en cuenta pues se podría tener errores en los resultados, se recomienda antes de realizar el ensayo, se utilice un localizador de acero de refuerzo. (Vidaud, 2014)

## Consecuencia de la obtención de muestras en el elemento estructural

Este ensayo es considerado por diversos especialistas como parcialmente destructivo, por lo que después de la prueba, se debe realizar reparaciones puntuales al elemento ensayado.

## Cálculos

Se calcula los valores medios de tensión de arrancamiento en cada parte de la estructura y se documenta junto con el modo de falla que tuvo cada uno.



## 2.7. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos son utilizados desde hace varias décadas, estos ensayos se utilizan para diagnosticar el estado de los materiales de una edificación durante la vida útil de la misma sin necesidad de romper o dañar los materiales que lo componen, es decir, hormigón, acero y mampostería, evitan afectaciones visibles y minimizan la necesidad de extraer muestras.

En la actualidad los métodos no destructivos son más aceptados debido a factores como:

- Mejoras tecnológicas en hardware y software.
- Ventajas económicas en la evaluación de grandes volúmenes de concreto, comparado con la extracción de muestras.
- Capacidad de realizar evaluaciones rápidas y exhaustivas de una construcción existente.
- Garantía y Control de calidad de cimientos profundos y reparaciones de concreto. (ACI 228.2R-98, 1.2)

Los ensayos no destructivos son fiables con los que se obtienen resultados cualitativos y cuantitativos muy aceptados, para cada ensayo no destructivo que se realice se evalúan aspectos como: su correlación con ensayos semi destructivos, su aplicabilidad in situ y complementariedad con otros métodos. Los ensayos que se realizarán serán: esclerometría, potencial de corrosión, ultrasonido y levantamiento estructural que se explican a continuación.

### 2.7.1. Ensayo de esclerometría

El esclerómetro conocido también como Schmidt Hammer es un ensayo no destructivo lo que nos permite realizar un gran número de rebotes sin alterar la resistencia, la estética y la funcionalidad de una estructura, además de ser un ensayo muy económico y se puede usar de manera horizontal, vertical o inclinada.

La norma estándar que se ocupa de este método de ensayo esta prescrita como Determinación del número de rebote en concreto endurecido y se encuentra en el código ASTM C 805.

Para una superficie de hormigón dada, el número de rebote es afectado por varios factores como el contenido de humedad del hormigón, la textura del material, la profundidad de carbonatación, de la distancia vertical desde el fondo de una colocación de concreto, y de la pericia del operador. (ASTM C 805).

### EQUIPO

El esclerómetro consta de los siguientes partes principales: cuerpo externo, embolo, martillo, resorte. En la figura 2.9 se muestra todas las partes de un esclerómetro.

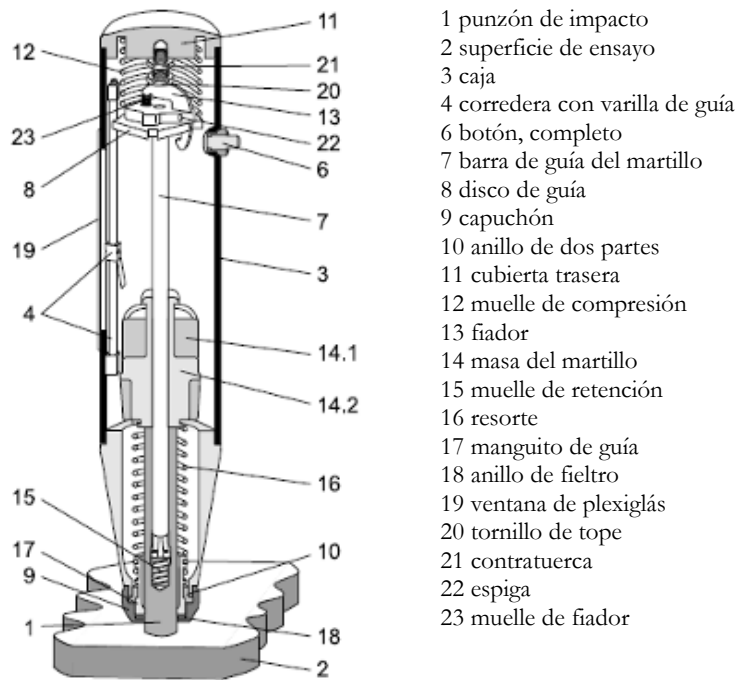


Figura 2.9 Martillo para ensayo de hormigón  
Fuente: Proceq, 2011

El principal uso de un esclerómetro es para estimar la resistencia a compresión de la estructura de hormigón in situ y funciona de la siguiente manera: el émbolo se extiende desde el cuerpo del instrumento y es puesto en contacto con la superficie de hormigón, cuando el émbolo está extendido, un mecanismo engancha el martillo en el extremo superior del émbolo, el cuerpo del instrumento es empujado hacia la superficie de hormigón, (figura XX (a)). Cuando el cuerpo se empuja hasta el límite, se libera el pestillo y el resorte tira del martillo hacia la superficie de hormigón (figura 2.10 (b)). El émbolo golpea sobre la superficie y dependiendo de la dureza del mismo, rebota con mayor o menor fuerza (figura 2.10 (c)). El martillo de rebote mueve el indicador de deslizamiento, que registra la distancia de rebote que se mide en una escala numerada del 10 al 100 (figura 2.10 (d)). En la figura 2.10 se muestra el proceso antes mencionado. (ACI 228.1R-95).

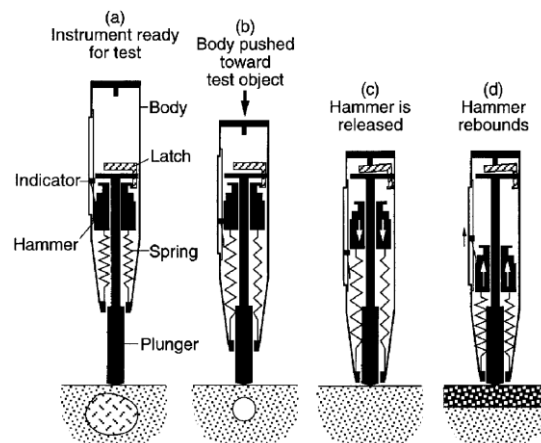


Figura 2.10 Mecanismo del esclerómetro.  
Fuente: ACI 228.1R-95

## Procedimiento

### Superficie de ensayo

Los miembros de concreto deben ser pulidos con la piedra abrasiva que viene con el mismo instrumento de manera que la superficie de textura gruesa o con mortero suelto quede lisa y apta para realizar el ensayo, se debe tener cuidado con áreas de textura rugosa o de alta porosidad, áreas que tengan vacíos entre el agregado grueso, y de ser posible evitar áreas con acabados. En caso de que se necesite hacer ensayos sobre miembros de concreto que se encuentren carbonatados se debe remover la capa carbonatada con ayuda de una lija motorizada.

La prueba debe realizarse en miembros de concreto que tenga por lo menos 100 milímetros de grosor y 150 milímetros de diámetro, no se debe realizar en concretos congelados ni en barras de refuerzo con recubrimiento menor de 20 milímetros

### Posición del esclerómetro

Se debe sostener el esclerómetro firmemente y recto de manera que el émbolo quede perpendicular a la superficie que se va a ensayar, dependiendo del lugar que se quiera ensayar el esclerómetro puede estar horizontal, hacia abajo, hacia arriba o con cualquier ángulo, pero siempre debe estar perpendicular.

Se empuja gradualmente del cuerpo del esclerómetro hacia la superficie a ser ensayada hasta que el martillo impacte, con la posición contraída del martillo se lee el número de rebote en la escala del número entero más cercano y se registra la lectura. Se toman 10 lecturas de cada área de ensayo, no se deben hacer dos impactos en menos de 25 milímetros.

Examinar los miembros de concreto luego del impacto, si estos se encuentran agrietados o rotos significa que tienen un vacío de aire, se descartan estos valores y se toman unos nuevos. (ASTM C- 805)

### Cálculos

Para los cálculos se debe hacer un promedio de las diez lecturas, se debe descartar las lecturas que difieren de 6 unidades, si hay más de dos lecturas que difieran del promedio en 6 unidades se descarta el conjunto completo de lecturas del área de ensayo.

#### 2.7.2. Ensayo de ultrasonido

La prueba de velocidad del pulso ultrasónico nace, como el esclerométrico, para evaluar la calidad del hormigón, es un método económico y sencillo. Aparte de las aplicaciones comentadas para el esclerómetro, el ultrasonido se aplica para conocer la homogeneidad del material, para encontrar discontinuidades internas tanto en la calidad de los materiales como en el caso de grietas, fisuras, y para evaluar la efectividad de la reparación de las grietas, también se aplica para conocer cambios en el hormigón debidos a diferentes causas como ataques de fuego y bioquímicos.

La norma estándar que se ocupa de este método de ensayo esta prescrita como Velocidad de pulso a través del hormigón y se encuentra en el código ASTM C597.

La velocidad de pulso puede ser afectado por varias razones: (ACI 228.1R-95)

- Contenido de humedad. La velocidad de pulso puede aumentar hasta un 5 % debido a que el contenido de humedad aumenta desde un hormigón seco a un hormigón saturado, se debe tener en cuenta especialmente en un hormigón maduro.
- Proceso de curado especialmente si se usan métodos acelerados.
- Presencia del refuerzo de acero. la velocidad de pulso a través del acero es aproximadamente 40 % más que a través del concreto, entonces la velocidad de pulso será mayor si está fuertemente reforzado especialmente si las barras de acero se encuentran paralelas a la dirección de propagación de pulsos, entonces se deberá usar factores de corrección
- Presencia de grietas o vacíos. El pulso puede difractarse alrededor de las discontinuidades, lo que aumenta la trayectoria y tiempo de viaje, entonces la velocidad de pulso será menor. La aparente disminución en la velocidad del pulso podría interpretarse incorrectamente como una fuerza de compresión baja.

La velocidad de pulso,  $V$ , de ondas longitudinales de esfuerzo en una masa de concreto es relativa a sus propiedades elásticas y su densidad de acuerdo con la siguiente relación: (ASTM C 597)

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

$E$  = Módulo de elasticidad dinámica

$\mu$  = Relación de Poisson dinámica

$\rho$  = Densidad

## Equipo

El ultrasonido se muestra en la figura 2.11 y consta de un generador de pulso, un par de transductores que son el transmisor y receptor, un amplificador, un circuito medidor de tiempo, una pantalla de tiempo y cables conectores.

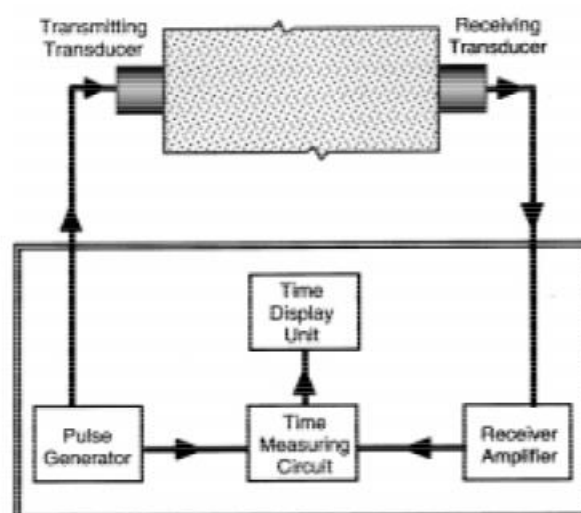


Figura 2.11 Ultrasonido.  
Fuente: ASTM C 597

El equipo de prueba funciona de la siguiente manera: el generador de pulso genera pulsos de voltaje repetitivos cada 3 segundos como mínimo, el transductor transmisor usa estos pulsos electrónicos para volverlos en ondas explosivas de energía mecánica que tendrá una frecuencia resonante de 20 a 100 KHz, una vez que la onda se transmite a través del hormigón, es captada por el transductor receptor y éste la convierte de onda a pulso electrónico. El circuito medidor de tiempo proporcionará una señal de salida cuando el pulso receptor es detectado y esta señal de salida determina el tiempo de propagación de la onda en el hormigón que se muestra en la pantalla. Este tiempo y la distancia entre transductores nos servirá para saber la velocidad de pulso.

El equipo limita longitudes de 50mm como mínimo y 15m como máximo, dependiendo de la frecuencia e intensidad de la señal generada. Los límites de las longitudes son obtenidos usando transductores de frecuencia resonantes de 10 a 20 KHz para longitudes de recorrido máxima y 50KHz o más para longitudes de recorridos menores.

## Procedimiento

### Superficie de ensayo

Antes de proceder a usar el equipo, es necesario hacer un reconocimiento visual de los puntos en donde se va a realizar la prueba, para determinar la rugosidad del hormigón, huecos o fisuras que afectará la prueba.

Es necesario además quitar el acabado de la superficie como: yeso, cemento, pintura ya que la separación entre el acabado y el hormigón que se va a ensayar puede dar un resultado equivocado. Cuando la superficie es rugosa se alisa con una piedra de pulir para así evitar resultados erróneos.

### Acoplamiento

El acoplamiento de los transductores (transmisor y receptor) a el hormigón es necesario para asegurar la transmisión de pulso ultrasónico y para eliminar el aire entre las superficies de contacto de transductores y el hormigón. Un buen agente de acoplamiento puede ser un material viscoso como aceite, vaselina, gelatina soluble en agua o grasa. El agua puede usarse como agente de acoplamiento cuando se estanca en la superficie o cuando el ensayo se hace bajo el agua.

Cuando se coloquen los transductores sobre la superficie de hormigón se debe tener cuidado de no moverlos hasta que la lectura sea realizada ya que se puede generar ruidos y por lo tanto resultados erróneos.

### Posición del ultrasonido

En la figura 2.12 se muestra las tres posiciones distintas de colocar los transductores sobre el hormigón. La transmisión puede ser directa, semidirecta o indirecta.

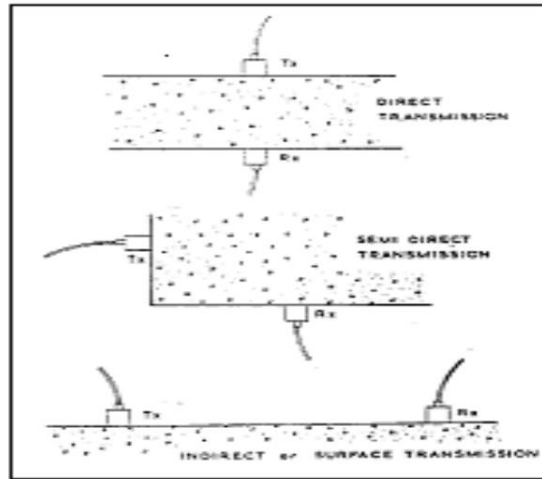


Figura 2.12 Posiciones del ultrasonido.

Fuente: Monroy, 2017

Es importante conocer la diferencia entre estas posiciones y saber que de cualquier modo la onda será detectada por el transductor receptor.

La mejor posición es la transmisión directa ya que el impulso es captado en la misma dirección en la que fue emitido es decir tiene una trayectoria bien definida. La transmisión semidirecta es menos precisa que la transmisión directa, pero es mejor que la transmisión indirecta.

La transmisión indirecta, aunque es menos favorable es la más usada dado que en la mayoría de los casos no es posible hacer el ensayo en ambas caras del hormigón. La transmisión indirecta tiene una trayectoria menos definida que la transmisión directa, por lo que no es favorable tomar esta longitud como la distancia de centro a centro de los transductores, entonces para las mediciones indirectas existe un procedimiento que debe ser usado para obtener la velocidad de pulso y se muestra en la figura 2.13

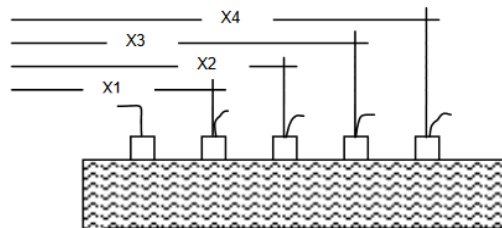


Figura 2.13 Método transmisión directa.

Fuente: Monroy, 2007

En este método, se coloca el transmisor en un punto elegido de la superficie y el receptor sobre los puntos sucesivos a lo largo de una misma línea, la distancia centro a centro se obtiene directamente para cada punto, con su tiempo de propagación respectivo. El inverso de la pendiente de la línea recta dibujada entre dos puntos de la gráfica de distancia en contraposición con el tiempo (Ver figura 2.14), nos da la velocidad promedio del pulso en la superficie.

$$Pend = \frac{t_2 - t_1}{X_2 - X_1} \quad Ec. 4$$

$$V = \frac{1}{Pend} \quad Ec. 5$$

$$V = (X_2 - X_1) / (t_2 - t_1) \quad Ec. 6$$

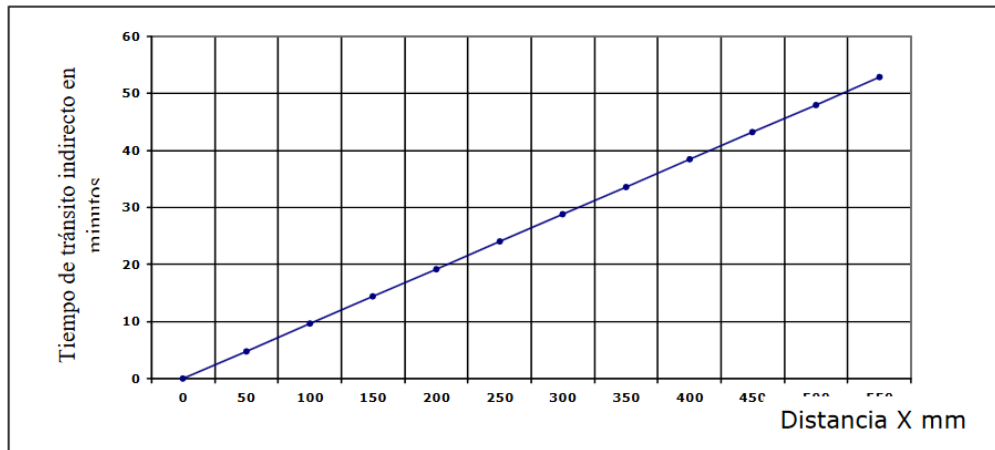


Figura 2.14 Gráfica tiempo de tránsito indirecto vs distancia.  
Fuente: Monroy, 2007

Como se ha verificado que la velocidad de pulso es menor cuando se usa el método de transmisión indirecta, que cuando se usa el método directo. Se debe encontrar un factor de corrección utilizando los dos métodos de transmisión, de no ser posible realizar las dos mediciones el valor de corrección aproximado será

$$V_D = 1.05V_I \quad Ec. 7$$

Donde:

$V_D$  = Velocidad de pulso obtenida usando el método directo.

$V_I$  = Velocidad de pulso obtenida usando el método indirecto.

Si la gráfica tiempo de tránsito indirecto vs distancia no está en línea recta, quiere decir existe en el hormigón fisuras o que la calidad del hormigón está variando. Entonces cuando la velocidad de pulso comienza a bajar el espesor de la capa de hormigón afectada se puede calcular con la ecuación 8:

$$T = (X_0/2) * ((V_S - V_d)/(V_S + V_d))^{0.5} \quad Ec. 8$$

Donde:

T = Espesor de la capa de hormigón afectada.

$X_0$  = Distancia en la cual ocurre el cambio de pendiente.

$V_d$  = Velocidad de pulso en hormigón dañado.

$V_S$  = Velocidad de pulso en hormigón no dañado.

## Profundidad e inclinación de la fisura

Cuando se requiere saber la profundidad de una fisura sobre el hormigón se sigue el siguiente procedimiento que además se indica en la figura 2.15:

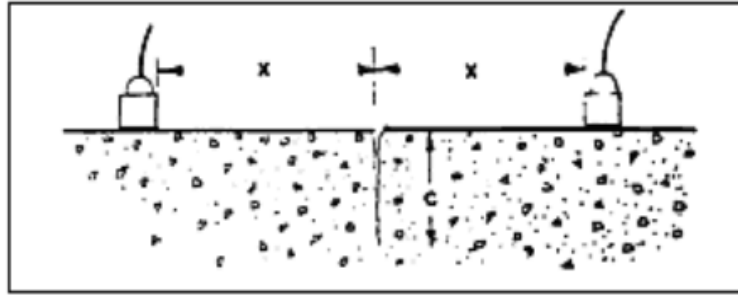


Figura 2.15 Profundidad de la fisura.  
Fuente: Monroy, 2007

- Se coloca los transductores a una distancia X de cada lado de la parte más gruesa de la fisura.
- Se toma el tiempo transcurrido de la distancia X y sería  $t_1$ .
- Se coloca los transductores a el doble de la distancia que se escogió anteriormente (2X).
- Se toma el tiempo transcurrido de la distancia 2X y sería  $t_2$ .
- La profundidad de la grieta C se encuentra mediante la siguiente expresión:

$$C = X((4t_1^2 - t_2^2)/(t_2^2 - t_1^2))^{0.5} \quad \text{Ec. 9}$$

Cuando se necesite determinar la inclinación de la fisura sobre el hormigón se colocan los transductores como se muestra en la figura 2.16 y se toma el tiempo de propagación, luego se mueve uno de los transductores alejándola de la fisura. Si el tiempo de propagación tomado de la segunda forma disminuye, quiere decir que la fisura esta inclinada para el lado al que movimos el transductor. (UNE 83-308-86)

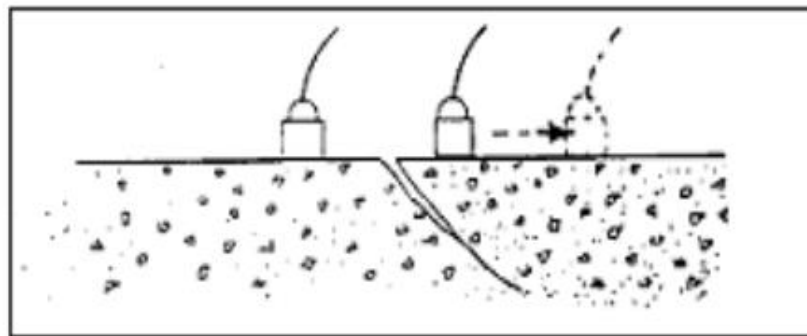


Figura 2.16 Inclinación de la fisura  
Fuente: Monroy, 2007

## Registro de datos

Se registra la distancia, el tiempo de propagación, el tipo de transmisión para cada elemento ensayado, la ubicación exacta de cada elemento utilizando un croquis, ambiente y la humedad. Se debe tomar tres lecturas para cada elemento, para luego hacer los respectivos cálculos.

## Cálculos

Se obtiene la velocidad de pulso para cada elemento ensayo con la siguiente expresión, (Monroy, 2007).



$$\text{Velocidad de pulso } \left( \frac{\text{Km}}{\text{seg}} \right) = \frac{\text{Distancia entre transductores (cm)} * 10}{\text{lectura de tiempo (microseg)}} \quad \text{Ec. 10}$$

Para las tres lecturas que se toman de cada elemento se encuentra la velocidad de pulso con la anterior ecuación, luego se realiza un promedio de las tres velocidades, la cual será la velocidad más aceptable. La velocidad de pulso obtenida se compara en la tabla 2.4 extraída de (Solís,2004) en la que encuentra la clasificación del hormigón en categorías con base a intervalos de velocidad de pulso. La condición del hormigón se puede ver en 2.5 y 2.6.

Tabla 2.4 Clasificación del concreto según la velocidad de transito ultrasónica.

Velocidad ultrasónica, v(m/s)	Clasificación del concreto
V> 4575	Excelente
4575>V>3660	Bueno
3660>V>3050	Cuestionable
3050>V>2135	Pobre
V<2135	Muy pobre

Fuente: Solís, 2004

Tabla 2.5 Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda

Velocidad de la onda longitudinal m/seg	Condición del hormigón
Mas de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular o dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy Pobre

Fuente: Pellicer, 2014

Tabla 2.6 Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso.

Velocidad de pulso m/seg	Condición del hormigón
Mas de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Fuente: Pellicer, 2014

### 2.7.3. Ensayo potencial de corrosión

Es necesario conocer el estado de avance de corrosión de la armadura (activa o pasiva), por lo que se necesita saber la cantidad y ubicación del refuerzo, para una adecuada evaluación y dar acciones correctivas antes de que la seguridad estructural este en riesgo.

El método de ensayo se utiliza para delimitar las secciones de una estructura donde probablemente haya una alta actividad de corrosión, y se puede realizar en cualquier tiempo durante la vida de un miembro estructural. Además, este ensayo se puede realizar sin importar el tamaño o la profundidad de recubrimiento del concreto sobre el acero de refuerzo. (ASTM C 876-91)

La norma estándar que se ocupa de este método de ensayo esta prescrita como Potenciales de media celda para acero de refuerzo no revestido en concreto y se encuentra en el código ASTM C 876-91.

Los resultados que se obtengan con este ensayo no debe ser una medida para valorar las propiedades estructurales del acero o del elemento del hormigón armado. Siempre es necesario el uso de otra información tal como el contenido de cloruro, profundidad de carbonatación, examinar resultados de laminación, resultados de rata de corrosión y

condiciones de exposición ambiental, en adición a las mediciones potencial de media celda, para formular conclusiones relativas a la actividad de corrosión del acero y su probable efecto en la vida útil de la estructura. (ASTM C 876-91).

El principio de corrosión es un proceso electroquímico que involucra el flujo de cargas (electrones y iones) como se muestra en la figura 2.17 extraída del ACI 228.2R-98, el sitio en la barra de acero corroído llamado ANODO, pierde electrones y se incrustan en el hormigón, como iones ferrosos. Este proceso se conoce como reacción de oxidación de media celda, o reacción anódica. Los electrones que se quedan en la barra dan un valor negativo al cargar, el método de potencial de corrosión se usa para detectar esta carga negativa y por lo tanto indica una actividad de corrosión. (ACI 228.2R-98).

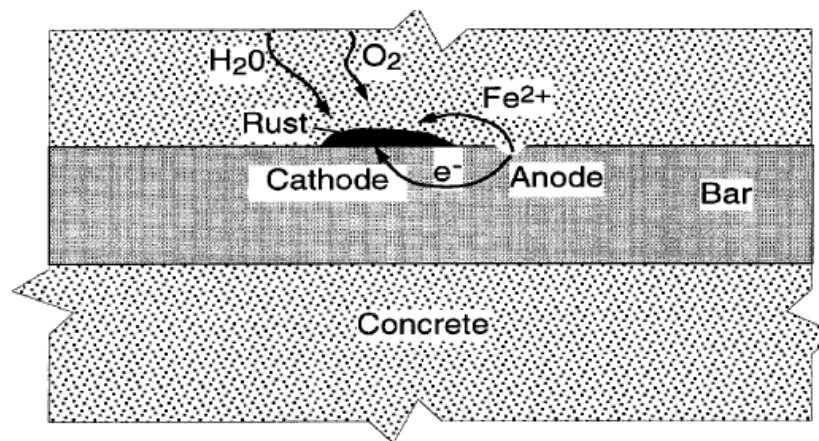


Figura 2.17 Corrosión de la varilla  
Fuente: ACI 228.2R-98

## Equipo

El equipo consiste en una media celda de cobre/sulfato de cobre como se muestra en la figura 2.18, esta consiste de un tubo rígido de diámetro no menor a 25 mm y compuesto de un material dieléctrico que no reacciona con el cobre o sulfato de cobre, puede ser una madera porosa o tapón plástico de no menor a 13 mm, que permanezca húmedo por acción capilar. Dentro del tubo esta una varilla de cobre de longitud no menor a 50mm y de diámetro 6 mm que está inmersa dentro del tubo en una solución saturada de sulfato de cobre.

El equipo además consta de un voltímetro, cables eléctricos cubiertos con un tipo de aislamiento directo, una esponja o varias esponjas pre-humedecidas con una solución de contacto de resistencia eléctrica baja, las esponjas están adheridas a la media celda (Ver figura 2.19).

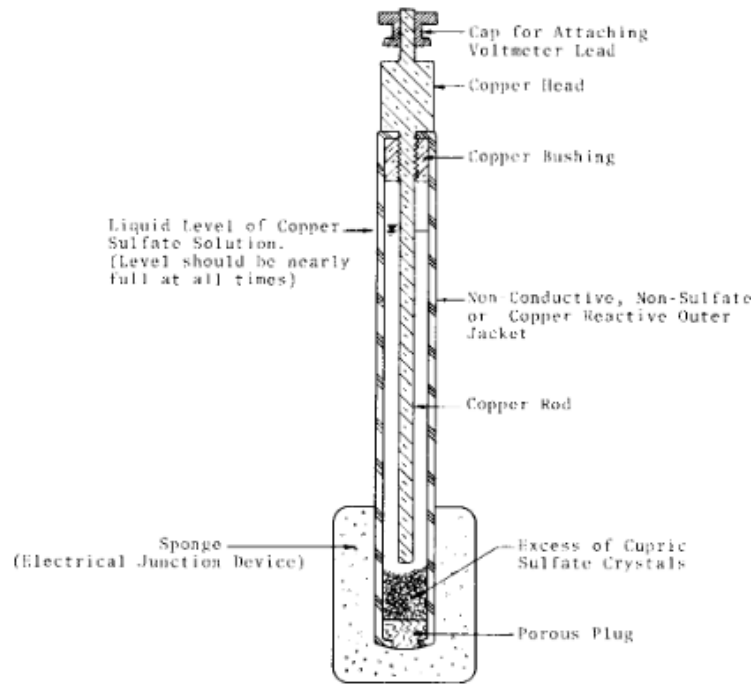


Figura 2.18 Media Celda.  
Fuente: ACI 228.2R-98

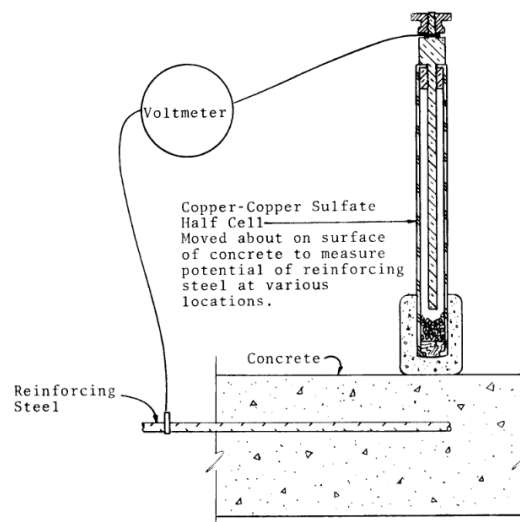


Figura 2.19 Equipo Completo de potencial de corrosión  
Fuente: ACI 228.2R-98

## Procedimiento

### Espaciamiento entre medidas

El valor entre medidas debe ser un valor pequeño, ya que si el espaciamiento es muy ancho se puede no localizar los puntos en donde haya corrosión activa. Se ha encontrado que un espaciamiento de 1.2 m es satisfactorio para losas en puentes. Los espaciamientos serán reducidos en el caso en que las lecturas muestren una diferencia de 150 mV, ya que esto nos indica que es un área de alta corrosividad. Cuando la diferencia entre lecturas sea 100 mV el espaciamiento no se reduce.

## Conexión de cables eléctricos

Para asegurar la varilla saliente de cobre de la media celda con el cable eléctrico se debe soldar o conectar con un sujetador tipo lagarto, para luego conectar el mismo cable a la terminal negativa del voltímetro. Para conectar el acero de refuerzo con el cable eléctrico se debe primero cepillar el acero y en algunos casos de debe retirar el hormigón para tener acceso al acero de refuerzo, y se conecta al terminal positivo del voltímetro.

## Pre-humedecimiento de la superficie de hormigón

Cuando se coloque la media celda sobre la superficie de hormigón, y al revisar el valor medido que nos da el voltímetro, este cambia o varía con el tiempo; entonces la superficie de hormigón debe ser humedecida y la lectura del voltaje ( $\pm 0.2V$ ) debe ser estable por al menos 5 minutos.

Para humedecer la superficie de hormigón existen dos métodos descritos a continuación:

- A) Se rocía o se humedece la superficie con una solución de contacto eléctrico que está compuesta de 95ml de agente humectante o detergente casero y 19 litros de agua potable, se puede añadir isopropil o alcohol desnaturalizado (15% por volumen de la mezcla) para evitar que se nuble la solución de contacto eléctrico.
- B) Se satura las esponjas adheridas a la media celda con la misma solución descrita anteriormente y se coloca en el hormigón hasta que el valor del voltímetro no cambie, no se debe mover la esponja hasta tomar los datos.

## Cálculos

Los potenciales de media celda pueden ser indicadores de la presencia o ausencia de corrosión del acero, los valores que se obtengan se pueden comparar con la tabla 2.7 y 2.8 para establecer la probabilidad de corrosión como porcentaje y en la tabla 2.9 para establecer si la corrosión de la armadura se encuentra en estado pasivo o activo.

Tabla 2.7 Criterio de Stratful para potenciales de corrosión como porcentaje de probabilidad de corrosión

Ecor (mV) vs ESC	Probabilidad de corrosión
-240	0%
-275	5%
-350	50%
-450	95%
-500	100%

Fuente: Andrade, Merino, 1995

Tabla 2.8 Potenciales de corrosión como criterio de la condición de la varilla

Ecor (mV) VS ESC	Condición
<-270	Activa
>-220	pasiva
-220 a -270	activa o pasiva

*Fuente: Andrade, Merino, 1995*

Tabla 2.9 Criterio de probabilidad de corrosión

Ecor (mV) VS ESC	Probabilidad de corrosión
>-120	10% que se presente
-120 a -270	zona incierta
<-270	90% que se presente

*Fuente: ASTM C 876-91*

## **CAPÍTULO 3.**

### **METODOLOGIA**

### **3. METODOLOGIA PARA LA EVALUACION PATOLOGICA DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICAS**

La evaluación se la practicó en 5 estructuras de la empresa ELECAUSTRO ubicadas en distintas partes de la provincia.

Estructuras evaluadas:

- Presa Ladrado
- Azud Escalera de Peces
- Canal de conducción
- Reservorio de Tuñi
- Presa Chanlud

La evaluación se la realizó a través de una serie de ensayos de tipo semi destructivos y no destructivos que presentamos a continuación

#### **3.1. Levantamiento estructural**

Con el objetivo de saber que ensayos realizar y en qué condiciones se encuentra cada una de las infraestructuras a ser analizadas, se realizó una visita para realizar un análisis visual y un registro fotográfico de los elementos de las estructuras.

Luego del análisis visual se planifico los ensayos que se realizaran en cada infraestructura dependiendo de la necesidad del elemento, de los materiales que lo conforman, del espesor del hormigón y principalmente de la accesibilidad que existe para el análisis de cada elemento, entre otros.

Se realizo un registro de datos de las patologías encontradas tales como: fisuras, oquedades, desprendimientos, eflorescencias, material vegetal, corrosión y delaminación para luego realizar un análisis del grado de severidad que existe por patologías. En el capítulo 4 se muestra los resultados que se obtuvieron.

En la tabla 3.1 se muestra los ensayos realizados en las infraestructuras y en las siguientes secciones se muestra el procedimiento para cada ensayo y los materiales utilizados.

Tabla 3.1 Ensayos semi destructivos y no destructivos realizados en las instalaciones

ENSAYOS	INFRAESTRUCTURA				
	Labrado	Canal de Conducción	Reservorio de Tuñi	Chanlud	Azud Escalera de Peces
Profundidad de Carbonatación	X	X	X	X	X
Potencial de Corrosión	X		X	X	
Adherencia	X	X	X	X	X
Esclerometría		X	X		X
Extracción de núcleos			X		X
Termografía infrarroja	X		X		
Ultrasonido		X	X		

Con los resultados que se obtuvieron al realizar cada uno de los ensayos se pudo crear las matrices de solución e intervención para cada estructura en estudio, presentadas en el capítulo 5. En las siguientes figuras se muestra el levantamiento estructural de la Presa el Labrado.



Figura 3.1 Entrada a la Presa el Labrado  
Fuente: Autor



Figura 3.2 Eflorescencia y fisuras en el azud  
Fuente: Autor





Figura 3.3 Vegetación en el azud  
Fuente: Autor



Figura 3.4 Vegetación, eflorescencia y fisuras en el azud  
Fuente: Autor



Figura 3.6 Oquedades en el Azud  
Fuente: Autor



Figura 3.5 Eflorescencia y algas  
Fuente: Autor



Figura 3.7 Fisuras en la pasamanería  
Fuente: Autor

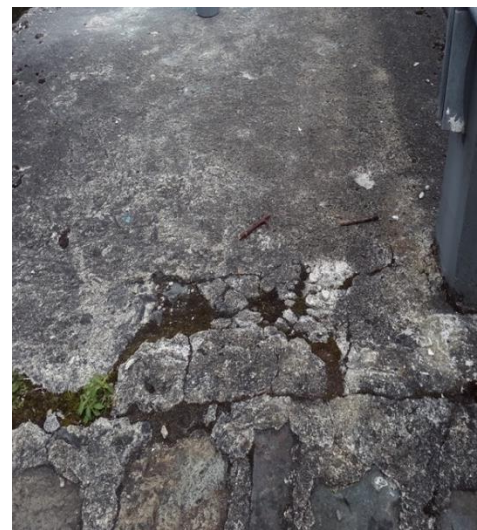


Figura 3.8 Fisuras en el pasamanería y material vegetal  
Fuente: Autor





Figura 3.9 Fisuras y desprendimiento del recubrimiento  
Fuente: Autor



Figura 3.10 Fisuras y material vegetal en la pasamería  
Fuente: Autor



Figura 3.11 Paramento aguas arriba  
Fuente: Autor

Las siguientes imágenes muestran el levantamiento estructural del canal de conducción



Figura 3.12 Canal de conducción km 0  
Fuente: Autor



Figura 3.13 Canal de conducción cubierto de material vegetal  
Fuente: Autor





Figura 3.14 Canal cubierto por deslizamientos en el sector  
Fuente: Autor



Figura 3.15 tramo del canal ubicado debajo de la superficie  
Fuente: Autor



Figura 3.16 Deslizamiento sobre el canal  
Fuente: Autor

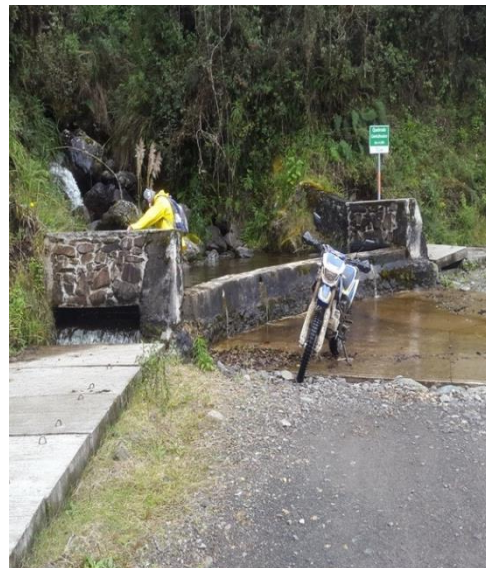


Figura 3.17 Quebrada enrocada  
Fuente: Autor

En las siguientes figuras se muestra el levantamiento estructural del reservorio de Tuñi



Figura 3.18 Panorámica del Reservorio de Tuñi  
Fuente: Autor





Figura 3.19 Reservorio de Tuñi  
Fuente: Autor



Figura 3.20 Fisuras y eflorescencia  
Fuente: Autor



Figura 3.21 Pasamanería y parte baja  
Fuente: Autor



Figura 3.22 Parte baja de la pasamanería  
Fuente: Autor



Figura 3.23 Desprendimientos en la parte baja de la pasamanería  
Fuente: Autor



Figura 3.24 Material vegetal en la parte baja  
Fuente: Autor





Figura 3.25 Parte con material vegetal, eflorescencia y fisuras  
Fuente: Autor

En las siguientes imágenes se muestra el levantamiento estructural de la presa de Chanlud.



Figura 3.26 Entrada a la Presa Chanlud  
Fuente Autor:



Figura 3.27 Azud tipo arco  
Fuente: Autor



Figura 3.28 material vegetal en las juntas de las pasamanería  
Fuente: Autor



Figura 3.29 Fondo de la pasamería  
Fuente: Autor





Figura 3.30 varilla sin recubrimiento

Fuente: Autor



Figura 3.31 Varillas expuestas al final de la pasamanería

Fuente: Autor

Por último, se muestra el levantamiento estructural del Azud Escalera de Peces.



Figura 3.32 panorámica del pie del azud afectado

Fuente: Autor



Figura 3.33 aceros expuestos por el desprendimiento del recubrimiento

Fuente: Autor

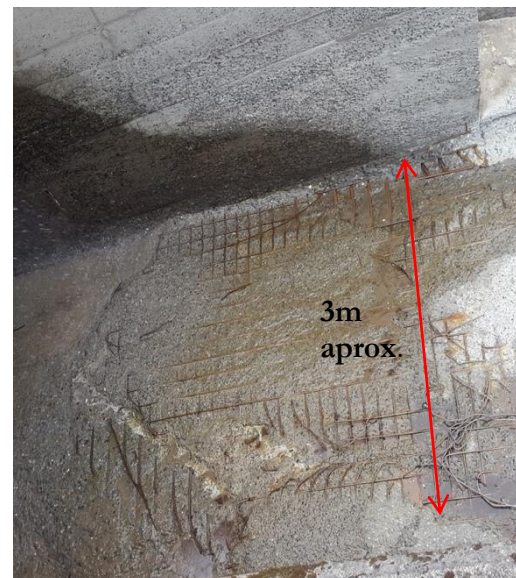


Figura 3.34 Aceros corroídos y expuestos

Fuente: Autor





Figura 3.35 pie del azud  
Fuente: Autor



Figura 3.36 Descascamiento en el muro  
Fuente: Autor

### 3.2. Ensayo de carbonatación y vida remanente

Con la finalidad de identificar el frente de carbonatación del hormigón en las estructuras evaluadas, se realizó un total de 37 ensayos, distribuidos en 5 ensayos en la Presa el Ladrado, 12 en el Canal de conducción, 10 en el Reservorio de Tuñi y 6 en la Presa Chanlud y 4 en el Azud Escalera de Peces.

Los ensayos se llevaron a cabo manualmente con ayuda de materiales como: cincel, martillo, calibrador electrónico digital de marca Vernier y fenolftaleína líquida como agente reactivo. El proceso de este ensayo es relativamente sencillo se tomó el cincel y el martillo para quitar parte del recubrimiento, formando un agujero en distintos sectores tomando en cuenta las partes que van a estar más expuestas al ambiente ya que son las más vulnerables al contacto del  $\text{CO}_2$ , luego se limpió con una franela seca y limpia para evitar que los residuos que salen se peguen alrededor del agujero, se colocó la fenolftaleína con un chisguete e inmediatamente se puede observar el cambio del color, con el calibrador electrónico digital se midió el espesor del recubrimiento en el que la fenolftaleína no cambia de color, se realizó un registro de todos los datos así como de las fotografías. El procedimiento se muestra en las siguientes figuras.



Figura 3.37 Desprendimiento del hormigón  
Fuente: Autor



Figura 3.38 espesor carbonatado del hormigón  
Fuente: Autor

### 3.3. Ensayo de potencial de corrosión

El ensayo de potencial de corrosión se hizo para determinar la actividad de corrosión en los aceros de las estructuras, es decir para conocer el estado pasivo o activo de la corrosión en las varillas. Se tomaron un total de 96 datos distribuido de la siguiente manera: En la presa El Labrado fueron 26 muestras, en el reservorio de Tuñi fueron 20 Datos y en la presa de Chanlud 50 muestras.

Para realizar este ensayo se necesitó un voltímetro digital, un detector de acero y varios materiales como: cables de 15m, sulfato de cobre, tubo de PVC de 25mm de diámetro y 40mm de altura, maderas porosas de 13mm, varilla de cobre de 6mm de diámetro y altura de 50mm, agua destilada, alcohol desnaturalizado, esponja, agua, detergente líquido, cincel y martillo. Algunos de los materiales se consiguieron en la Botica y otros en la ferretería.

El potencial de media celda se construyó en base a la norma ASTM C 876-91, se colocó una madera porosa como tapa inferior para el tubo, dentro del tubo se colocó agua destilada hasta un punto marcado en el mismo, se colocó sulfato de cobre hasta obtener una agua saturada es decir que el sulfato de cobre ya no pueda disolverse y quede una capa en la base de la madera, se colocó la varilla de cobre sujeta de la tapa superior de madera. En la base de tubo de media celda se colocó una esponja humedecida con una solución de contacto eléctrico hecha de agua, detergente líquido y alcohol desnaturalizado.

Primero para tener constancia de que el instrumento es adecuado, se realizó algunas pruebas en unas casas abandonadas donde a simple vista la condición de corrosión en los aceros es activa en aumento, una vez se comprobó que se puede tener datos confiables se realizó el ensayo en las estructuras a ser evaluadas. Los resultados de las pruebas se muestran en el siguiente capítulo en donde también haremos un análisis.

Los ensayos se realizaron en el reservorio de Tuñi y en las pasamanerías de las presas de Labrado y Chanlud, con el detector de acero se ubicó el acero de refuerzo para luego con el cincel y el martillo quitar el recubrimiento y conectar la terminal positiva del voltímetro al acero y la otra terminal a un electro de referencia que sería la varilla de cobre dentro de la media celda, se tomó y registro muestras paralelas y transversales cada 1.20 metros a lo largo de cada estructura ensayada. En las siguientes figuras se muestra gráficamente el procedimiento.



Figura 3.39 Materiales utilizados para la media celda  
Fuente: Autor



Figura 3.40 Acceso al acero en la pasamanería  
Fuente: Autor



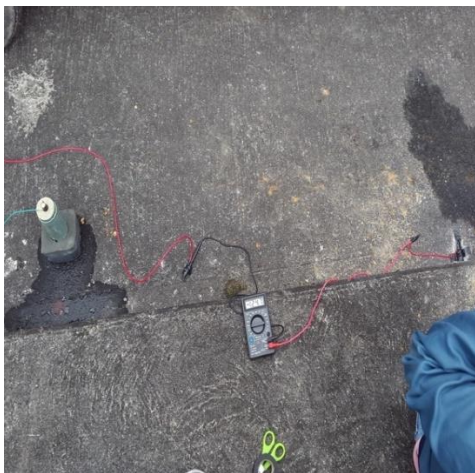


Figura 3.41 Conexión de los cables en las terminales del voltímetro  
Fuente: Autor

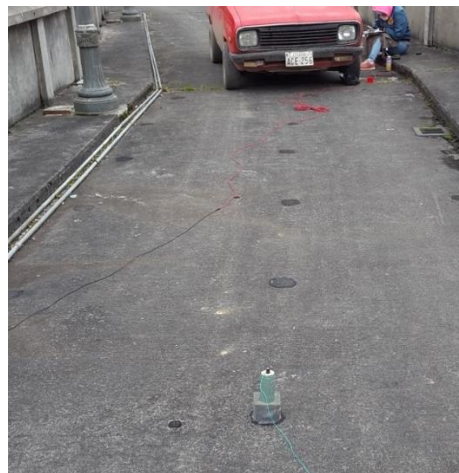


Figura 3.42 Toma de datos cada 1.20 m  
Fuente: Autor

### 3.4. Ensayo de adherencia

Con la finalidad de tener un criterio de reforzamiento estructural adherido es necesario realizar pruebas de adherencia. Se tomaron un total de 71 datos en todas las estructuras distribuidos de la siguiente manera: en la presa de Labrado se tomó 6 datos, en el canal de conducción se tomaron 20 muestras, en el reservorio de Tuñi fueron 12 datos, en la presa de Chanlud fueron 6 Datos y en el azud escalera de peces se tomó 27 datos.

El ensayo se realizó con equipos como: Pull off marca Proceq, amoladora, generador además de varios materiales como: arena de cuarzo, puente de adherencia epóxico Primer N (A), puente de adherencia epóxico Primer N (B) y pastillas con sus respectivos tornillos. Luego de una planificación para colocar las pastillas, se realizó el ensayo en campo. En algunos sectores no contábamos con energía por lo que necesitamos el generador para el funcionamiento de la amoladora y así pulir los puntos a evaluar, luego se realizó la mezcla para adherir las pastillas con una unidad (vaso de 8onzas) de epóxico A, media unidad de epóxico B, se añadió arena de cuarzo hasta que la mezcla forme una pasta, la mezcla se colocó sobre la pastilla para luego pegar en la superficie pulida. A los dos días de haber pegado las pastillas se procedió a extraerlas y así medir la resistencia con el Pull off, se registró los datos para luego hacer sus respectivos análisis. En las siguientes figuras se muestra el proceso y los materiales usados.



Figura 3.43 Pull Off Proceq  
Fuente: Autor



Figura 3.44 Pastillas redondas de 5 cm de diámetro  
Fuente: Autor





Figura 3.45 Epóxico sikadur 32 A y B  
Fuente: Autor



Figura 3.46 Mezcla y pegado de la pastilla  
Fuente: Autor



Figura 3.47 Extracción de la pastillas con el Pull Off  
Fuente: Autor



Figura 3.48 Resultado del esfuerzo a tensión  
Fuente: Autor



Figura 3.49 Tipo de Falla  
Fuente: Autor

### 3.5. Ensayo de esclerometría

Con el fin de determinar la resistencia a compresión se realizó el ensayo esclerométrico con el martillo de hormigón Silverschmidt marca Proceq para algunas estructuras y para otras el esclerómetro Schmidt marca Taijia, se tuvo que utilizar un segundo esclerómetro alquilado ya que en la recolección de datos el esclerómetro propiedad de la universidad tuvo fallas técnicas.

Se tomo un total de 152 datos en las estructuras distribuido de la siguiente manera: en el canal de conducción fueron 45 Datos, en el reservorio de Tuñi fueron 80 datos y en el azud Escalera de Peces se tomó 27 datos. Para realizar el ensayo esclerométrico se necesitó además de los esclerómetros varios equipos y materiales como: generador de 110 V, dos extensiones una de 50 y 4 metros, una carretilla, vehículo y una amoladora.

El canal de conducción se encuentra junto al camino que va desde la presa el Labrado hasta el reservorio de Tuñi y tiene un total de 7.6 km, este tiene tramos variados de entre 1-3 km, en el que se encuentra cubierto por tapas de hormigón y en otros sectores además de estar cubierto por tapas de hormigón se han producido deslizamientos y el canal se encuentra debajo del camino tapado con el material de las montañas por lo que era inasequible y no se tomaron muestras en estos sectores. El ensayo se planifico y se realizó en los km 0+200, 0+580, 1+500, 2+750, 4+150,6+250, tomando tramos de 10 metros. En cada sección con el generador y el cable de 4 metros se utilizó la amoladora para pulir cada punto que vaya a ser evaluado con el esclerómetro, se decidió utilizar la amoladora para pulir ya que todo el hormigón estaba húmedo y las lijas se rompían con solo usar en un punto, una vez que la superficie de ensayo estaba pulida se realizó en cada punto 10 impactos perpendiculares realizados horizontal y verticalmente, se tomaron 10 datos válidos, es decir que no se dispersen de 6 unidades y así tener todos los datos y no borrar ningún punto, cada valor marcado en el esclerómetro se registró para realizar un análisis que se muestran en el siguiente capítulo.

En el reservorio de Tuñi se tomaron muestras tanto en el reservorio como en la parte baja de la pasamanería, la metodología fue la misma que para el canal, aquí además se utilizó una carretilla para llevar el generador a los puntos donde la extensión no alcanzaba y el acceso con un vehículo no era posible. En las figuras siguientes se muestra el proceso realizado.



Figura 3.50 Esclerómetro Proceq  
Fuente: Autor



Figura 3.51 Esclerómetro Taijia  
Fuente: Autor





Figura 3.52 Pulido en el Canal de Conducción  
Fuente: Autor



Figura 3.53 Pulido en el reservorio  
Fuente: Autor

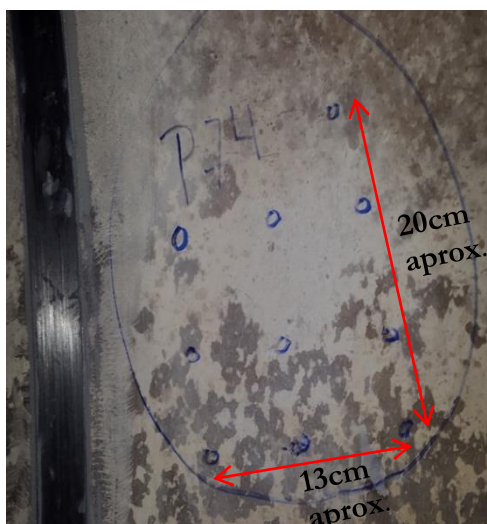


Figura 3.54 Puntos específicos para la esclerometría  
Fuente: Autor



Figura 3.55 resultado del índice esclerométrico  
Fuente: Autor

### 3.6. Ensayo de núcleos perforados

Debido a la necesidad de comparar con los resultados dados por esclerómetro, se realizaron un total de 17 núcleos, distribuidos en 4 en la parte baja de la pasamanería en Tuñi y 13 núcleos en el Azud Escalera de Peces. En la Presa Labrado no se perforó por el tipo de material del azud, en el canal de conducción no se pudo hacer ya que el hormigón era muy delgado y si se perforaba, el núcleo seguramente no iba a cumplir con la norma y en la Presa de Chanlud no se logró tomar muestras ya que el espaciamiento de los aceros era de 5 cm por lo que no se procedió a perforar para no dañar los aceros de la estructura y cuidar la broca del extractor.

En la parte baja de la pasamanería para extraer los núcleos se utilizó un extractor de núcleos marca BOSCH, algunos equipos complementarios como detector de acero electrónico marca BOSCH, con el cual se realizó un diagrama de la ubicación de los aceros, también nos ayudó con el diámetro, la profundidad y el espaciamiento de los aceros de la estructura con el fin

de no encontrarnos con los mismos en el momento de la perforación. Después con un taladro marca BOSCH se procedió a colocar un perno de fijación entre la superficie y el extractor para que el equipo se encuentre estable al momento de la perforación, por último, se comprobó que la bomba manual marca Fórmate tenga suficiente agua y así se pudo iniciar la perforación con una velocidad constante y moderada, cabe recalcar que en todo momento de la perforación se debe estar bombeando agua a una velocidad constante. Se obtuvieron núcleos con alturas diferentes debido al material granular de la estructura, Se retiró la broca cuando ya no se podía avanzar más, luego de extraer los núcleos fueron sumergidos en agua 48 horas y perfilados para luego ser ensayos en el laboratorio de Suelos de la Universidad de Cuenca donde se midió, peso y ensayó en la prensa para obtener la resistencia a la compresión.

Después de la extracción se cubrió el agujero con un mortero de reparación de alta calidad, aquí tuvimos dos tipos; el SikaRep y el Sika Grout. El SikaRep se utilizó para agujeros en paredes verticales ya que este producto no se escurre y es de secado rápido. El preparado de la mezcla es de 4.5 a 5 litros de agua por cada saco de 25kg. El Sika Grout en cambio se utilizó para agujeros que se hicieron en el piso, ya que es autonivelante. El preparado de la mezcla es de 4 a 4.2 litros de agua por cada saco de 30kg.

Hay que tener cuidado si se cubre el agujero después de unos días ya que debe estar limpio, libre de grasas y la superficie debe estar saturada de agua para que la adherencia con el mortero sea buena, esto no ocurrió en nuestro caso ya que se cubrió todos los agujeros luego de la extracción de los núcleos.



Figura 3.56 Detector de Acero de refuerzo  
Fuente: Autor



Figura 3.57 Diagrama de los aceros de refuerzo  
Fuente: Autor





Figura 3.58 Marcado de aceros  
Fuente: Autor



Figura 3.59 Colocado de perno de fijación  
Fuente: Autor



Figura 3.60 Llenado de bomba manual  
Fuente: Autor



Figura 3.61 Extracción de núcleo  
Fuente: Autor



Figura 3.62 Toma de medidas de núcleo  
Fuente: Autor



Figura 3.63 Perfilado de núcleo  
Fuente: Autor



Figura 3.64 Prensa de Laboratorio de Suelos  
Fuente: Autor

### 3.7. Termografía infrarroja

Se realizó en la presa El Labrado y en el reservorio de Tuñi, no se pudo realizar el ensayo en las demás infraestructuras por el difícil acceso y por el equipo en malas condiciones que nos dificultó el trabajo. Para la toma de muestras se utilizó un multímetro digital MD 9060 de marca METREL, una cinta métrica, un instrumento llamado MI 6401 Poly de marca METREL que sirve para medir los parámetros necesarios de calibración que necesita la cámara.

Para empezar a tomar las fotografías se calibró el equipo con la temperatura ambiente, la humedad relativa y la distancia ya que la cámara infrarroja necesita dichos datos para funcionar correctamente. Primero se utilizó el multímetro para hallar la temperatura, se conectó los puntales del mismo a la presa y en la opción temperatura nos dio el valor de temperatura aproximado de la presa en ese momento. Para obtener un valor de humedad relativa solo bastó conectar la antena al equipo MI 6401. En cada muestra tomada se midió con la cinta la distancia desde la presa al equipo, con el equipo ya calibrado se procedió a tomar las fotografías, la cámara guarda automáticamente las fotos en la memoria externa. Para procesar estas fotografías se utilizó el software GUIDE Report Express. En las figuras se muestran el procedimiento y los equipos.



Figura 3.65 MI 6401 Poly  
Fuente: Autor



Figura 3.66 Multímetro digital  
Fuente: Autor





Figura 3.67 Obtención de temperatura de la presa  
Fuente: Autor



Figura 3.68 Cámara termográfica  
Fuente: Autor

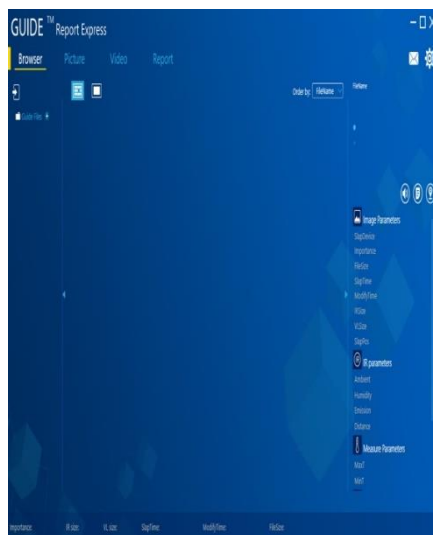


Figura 3.69 Software GUIDE Report Express  
Fuente: Autor

### 3.8. Ensayo de ultrasonido

Para determinar la uniformidad, las fisuras y la calidad del hormigón se utilizó el medidor de ultrasonidos para hormigón TICO que se obtuvo del laboratorio de suelos de la Universidad de Cuenca, se usó además gel ego como agente de acoplamiento de los transductores, una regla de 20 cm para marcar la distancia entre los transductores y una piedra de pulir para hormigones rugosos.

Se tomo 20 muestras en el canal de conducción y 15 datos en el reservorio de Tuñi para medir la condición del hormigón y 10 muestras para medir la profundidad de las fisuras encontradas en el reservorio.

En el canal de conducción se tomaron muestras en los km 0+200, 0+580, 1+500, 2+750, 4+150,6+250, tomando tramos de 10 metros para medir la condición del hormigón, en el reservorio de Tuñi se tomaron además muestras de fisuras. Fue muy difícil conseguir datos

de calidad ya que el reservorio está muy fisurado, encontrar un tramo sin fisuras fue complicado y el equipo media la velocidad como un valor infinito.

En cada sección se realizó un reconocimiento visual para tomar muestras de calidad en tramos donde no haya fisuras para obtener datos válidos, se lijo y limpio los puntos donde van los transductores a una distancia de 20 cm. Se calibró el equipo de la siguiente manera: se pulsó el botón MENU, en distance se escribió 0.200m, se pulsó END, se trató de no tener el equipo prendido porque se consumen las pilas de manera acelerada, aunque estas tengan una larga vida en otros equipos. Se colocó gel en los transductores, así como en cada punto, se asentó los transductores se prendió el equipo y se pulso START. Se registro la velocidad ultrasónica para luego analizar la calidad del hormigón. Para tomar valores de profundidades de las fisuras se limpió y lijo a 10 y 20cm de cada lado de la parte más gruesa de la fisura, el equipo se calibro de la siguiente manera se pulso MENU, se seleccionó Crack Depth y se escribió en b= 200mm. Con los transductores asentados, se tomó el primer tiempo pulsando START y el segundo tiempo pulsando STORE, se registró los datos de las profundidades. Si el tiempo era infinito significaba que la fisura es pasante es decir que atraviesa completamente el hormigón. En las figuras siguiente se muestra el proceso, así como de los equipos y materiales.



Figura 3.70 Ultrasonido con sus accesorios  
Fuente: Autor



Figura 3.71 Profundidad de grieta  
Fuente: Autor



Figura 3.72 Profundidad de grieta  
Fuente: Autor



Figura 3.73 Condición del hormigón  
Fuente: Autor



## CAPÍTULO 4.

### RESULTADOS

#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

##### 4.1. Análisis de resultados de Presa El Labrado

En la figura 4.1 y 4.2 se muestra los puntos donde se realizaron los ensayos

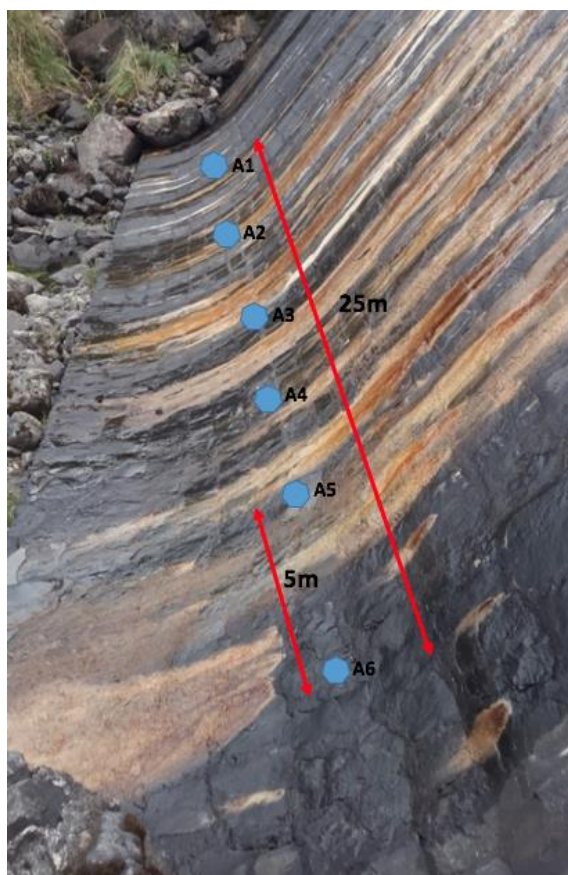


Figura 4.1 Ubicación de los puntos del ensayo de adherencia  
Fuente: Autor



Figura 4.2 Ubicación de ensayos de carbonatación y potencial de corrosión  
Fuente: Autor

En Donde:

- = Ensayos de Adherencia
- = Ensayos de potencial de corrosión
- ▲ = Ensayos de Carbonatación

### 4.1.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente

La tabla 4.1 muestra los resultados obtenidos de la pérdida de Ph, es decir de la profundidad de carbonatación y las observaciones realizadas.

Tabla 4.1 Determinación de la profundidad de carbonatación

N° de ensayo	Elemento	Carbonatación	Recubrimiento		Observaciones
			Actual	Diseño	
		mm	mm	mm	
1	pasamanería	1,15	20	20	Carbonatación alcanza el 5,75 % del espesor del recubrimiento
2	pasamanería	1,13	20	20	Carbonatación alcanza el 5,65 % del espesor del recubrimiento
3	pasamanería	0,75	20	20	Carbonatación alcanza el 3,75 % del espesor del recubrimiento
4	pasamanería	0,83	20	20	Carbonatación alcanza el 4,15 % del espesor del recubrimiento
5	pasamanería	1,19	20	20	Carbonatación alcanza el 5,95 % del espesor del recubrimiento

Existe una profundidad de carbonatación mínima ya que la carbonatación es algo natural que se produce en todas las estructuras debido a que existe un 3% de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, además existen varias razones para que existe carbonatación en esta estructura como la humedad del clima que favorece a la disolución del hidróxido de Calcio, así como de fuertes vientos que permiten el ingreso del CO<sub>2</sub>. No debemos preocuparnos en absoluto por la carbonatación en esta sección ya que es inferior al recubrimiento de las armaduras. En el Anexo 2. y en la sección 3.2 se muestra la forma en la que se realizó el ensayo.

La figura 4.3 muestra la vida remanente obtenida para la pasamanería de la presa a partir de los resultados obtenidos de la tabla 4.2 con la metodología propuesta por Tuutti K. Ec. 1 y Ec. 2.

Tabla 4.2 Vida remanente de la pasamanería

Profundidad	Año de construcción	Año de Evaluación	Tasa de avance de carbonatación	Recubrimiento	Tiempo	Vida Remanente
mm			mm/año <sup>1/2</sup>	mm	Años	Años
1,19	1972	2018	0,18	20	12340	12294

Teóricamente la vida remanente de la pasamanería es muy grande debido a que la tasa de avance de carbonatación es despreciable, la estructura por carbonatación no sufrirá ningún daño. Mediante la tabla 2.3 se determina la calidad del hormigón en función de k como buena.

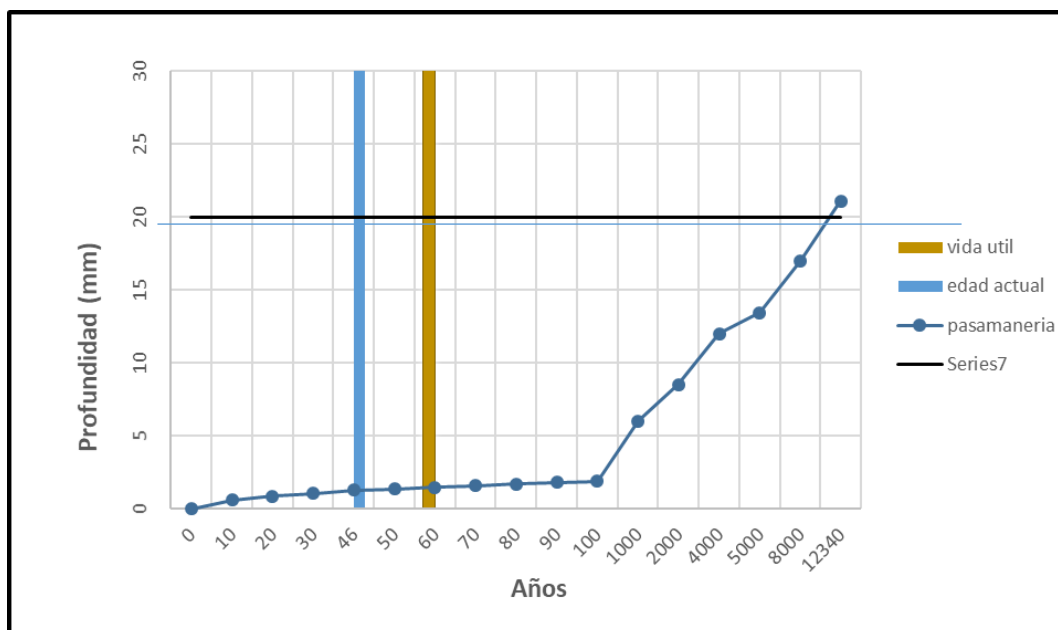


Figura 4.3 vida remanente de la pasamanería con un recubrimiento de 20 mm  
Fuente: Autor

#### 4.1.2. Ensayo de potencial de corrosión

La tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos del estado de avance de corrosión en la pasamanería, aunque la pasamanería no es una parte estructural de la presa se decidió realizar el ensayo aquí ya que es uno de los pocos lugares de fácil acceso de hormigón.

Tabla 4.3 Determinación de corrosión electroquímica

N° de ensayo	Elemento	Posición	Lectura	Promedio
			mV	mV
1	Pasamanería	derecha	-14,5	-36,9
		intermedio	-32,1	
		izquierda	-64,2	
2	Pasamanería	derecha	-17,5	-39,7
		intermedio	-38,9	
		izquierda	-62,8	
3	Pasamanería	derecha	-80,2	-68,3
		intermedio	-61,1	
		izquierda	-63,7	
4	Pasamanería	derecha	-101,6	-85,9
		intermedio	-85,1	
		izquierda	-70,9	
5	Pasamanería	derecha	-70,6	-71,3
		intermedio	-78,9	
		izquierda	-64,5	
6	Pasamanería	derecha	-40,3	-62,5
		intermedio	-76,5	

		izquierda	-70,6	
7	Pasamanería	derecha	-64,5	-63,7
		intermedio	-62,8	
		izquierda	-63,7	
8	Pasamanería	derecha	-73,8	-81,4
		intermedio	-102,7	
		izquierda	-67,6	
9	Pasamanería	derecha	-89,7	-89,2
		intermedio	-115,3	
		izquierda	-62,7	
10	Pasamanería	derecha	-73,5	-78,2
		intermedio	-85,7	
		izquierda	-75,3	
11	Pasamanería	derecha	-86,1	-88,5
		intermedio	-113,2	
		izquierda	-66,2	
12	Pasamanería	derecha	-93,2	<b>-99,1</b>
		intermedio	-120,7	
		izquierda	-83,3	
13	Pasamanería	derecha	-61,4	-84,0
		intermedio	-119,3	
		izquierda	-71,3	
14	Pasamanería	derecha	-46,2	-74,1
		intermedio	-103,5	
		izquierda	-72,5	
15	Pasamanería	derecha	-70,2	-65,0
		intermedio	-53,4	
		izquierda	-71,4	
16	Pasamanería	derecha	-73,5	-66,0
		intermedio	-65,1	
		izquierda	-59,4	
17	Pasamanería	derecha	-86,4	-77,1
		intermedio	-83,5	
		izquierda	-61,4	
18	Pasamanería	derecha	-92,6	-79,9
		intermedio	-87,6	
		izquierda	-59,5	
19	Pasamanería	derecha	-40,2	-53,6
		intermedio	-67,3	
		izquierda	-53,4	
20	Pasamanería	derecha	-45,1	-55,5
		intermedio	-67,5	
		izquierda	-53,9	
21	Pasamanería	derecha	-53,6	-57,4
		intermedio	-57,3	

		izquierda	-61,2	
22	Pasamanería	derecha	-58,7	-62,1
		intermedio	-66,3	
		izquierda	-61,2	
23	Pasamanería	derecha	-68,6	-64,8
		intermedio	-69,7	
		izquierda	-56,1	
24	Pasamanería	derecha	-71,8	-62,2
		intermedio	-68,3	
		izquierda	-46,6	
25	Pasamanería	derecha	-61,4	-63,7
		intermedio	-71,3	
		izquierda	-58,4	
26	Pasamanería	derecha	-45,3	-59,6
		intermedio	-70,5	
		izquierda	-62,9	
Promedio			-68	

Al comparar las mediciones realizadas con la tabla 2.9 del ASTM C 876-91 se puede justificar la corrosión como despreciable, es decir que puede existir un 10% de probabilidades de corrosión, al comparar con el criterio de Stratful (Tabla 2.7) se puede decir que la condición de la varilla se encuentra en corrosión pasiva. Sumando las conclusiones anteriores de corrosión por carbonatación se puede argumentar que la losa en donde se realizaron los ensayos no necesita reparaciones por dichas causas. En el Anexo 3 se muestra gráficamente el proceso realizado para este ensayo.

### 4.1.3. Ensayos de adherencia

La tabla 4.4 muestra los resultados de esfuerzos a tensión, así como el tipo de falla producida en cada ensayo. Los ensayos se realizaron en el pie del azud, todas las pastillas eran redondas de 5 cm de diámetro

Tabla 4.4 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia

N°	Diámetro	Área	Carga de Tensión		Resistencia Obtenida		Tipo de Falla
	cm	cm <sup>2</sup>	kN	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	
1	5	19,64	0,78	79,54	4,05	0,40	100% hormigón
2	5	19,64	1,16	118,29	6,02	0,59	100% hormigón
3	5	19,64	0,72	73,42	3,74	0,37	100% hormigón
4	5	19,64	1,86	189,66	9,66	0,95	100% hormigón
5	5	19,64	0,7	71,38	3,64	0,36	100% hormigón
6	5	19,64	0,36	36,71	1,87	0,18	100% hormigón

Promedio 4.8 0,5

La norma ACI 440-2R especifica que los resultados deben ser mayores a 1.4 MPa, para esta presa los valores encontrados fueron menores a lo dispuesto, posiblemente por factores de variaciones como las condiciones ambientales ya que el azud permanecía mojado todo el tiempo debido al clima y además porque existían fisuras en el mortero de unión, el azud está construido por bloques sin recubrimiento hechos de material extraído de las montañas aledañas y unidas con mortero que fue donde se realizó los ensayos, este puede haber sido un problema de encontrar valores tan pequeños que se recomienda hacer en superficies recubiertas, otro factor de variación pudo ser el tiempo de extracción que se hizo luego de dos días de haber colocado las pastillas. En el Anexo 4 se muestra el proceso de colocación y extracción de las pastillas.

#### 4.1.4. Termografía infrarroja

Las siguientes imágenes muestran gráficamente el análisis realizado en la presa de El Labrado.

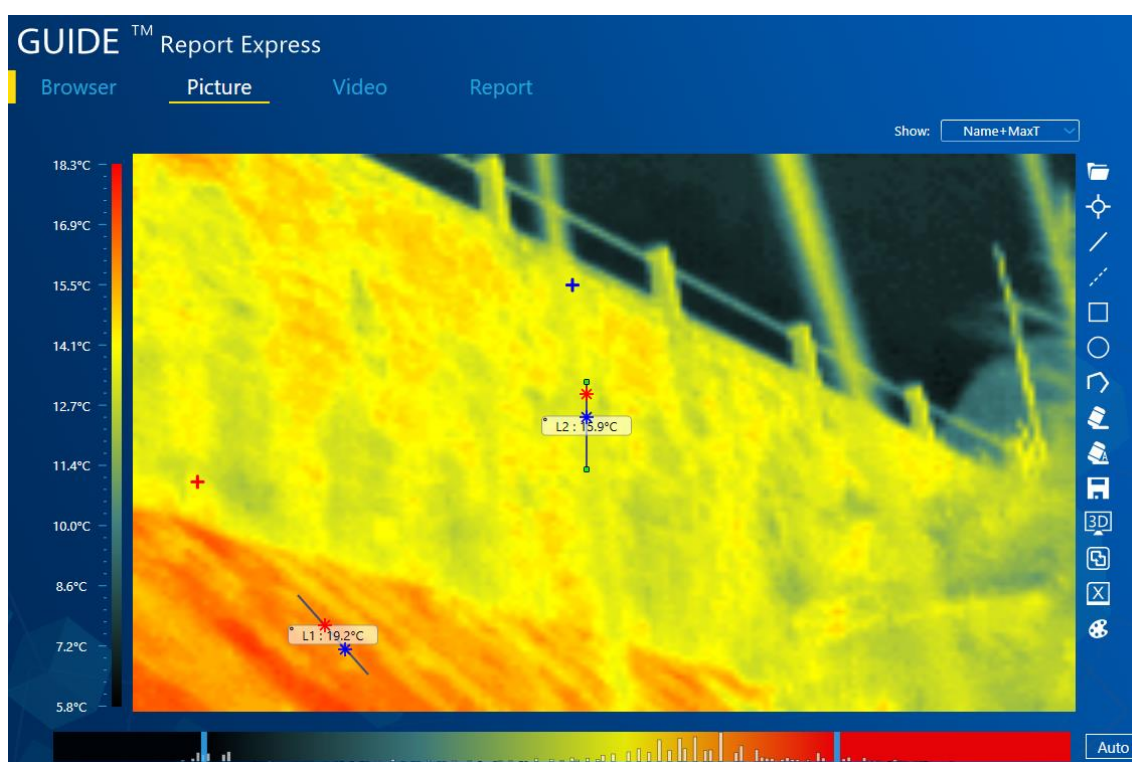


Imagen 4.1 Presa El Labrado, aguas arriba.

Fuente: Autor



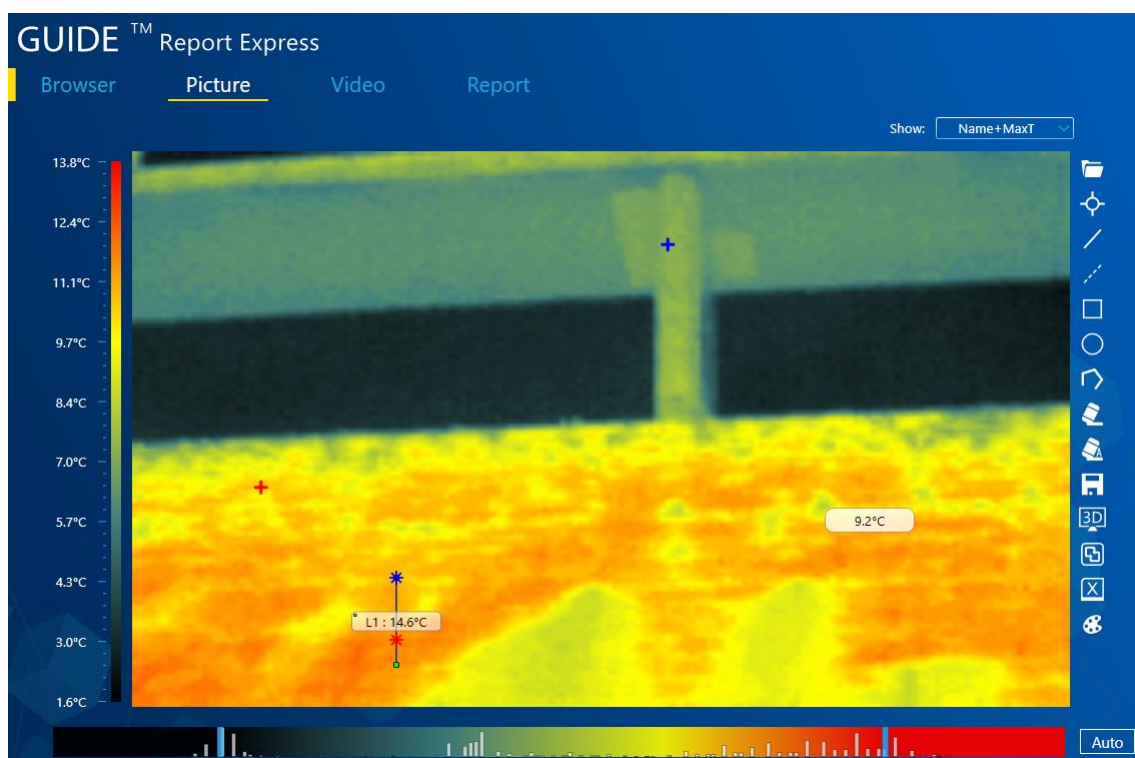


Imagen 4.2 Presa El Labrado, azud. Temperatura normal del Azud de 14,6. Temperatura de 9,2 representa una filtración pequeña.  
Fuente: Autor

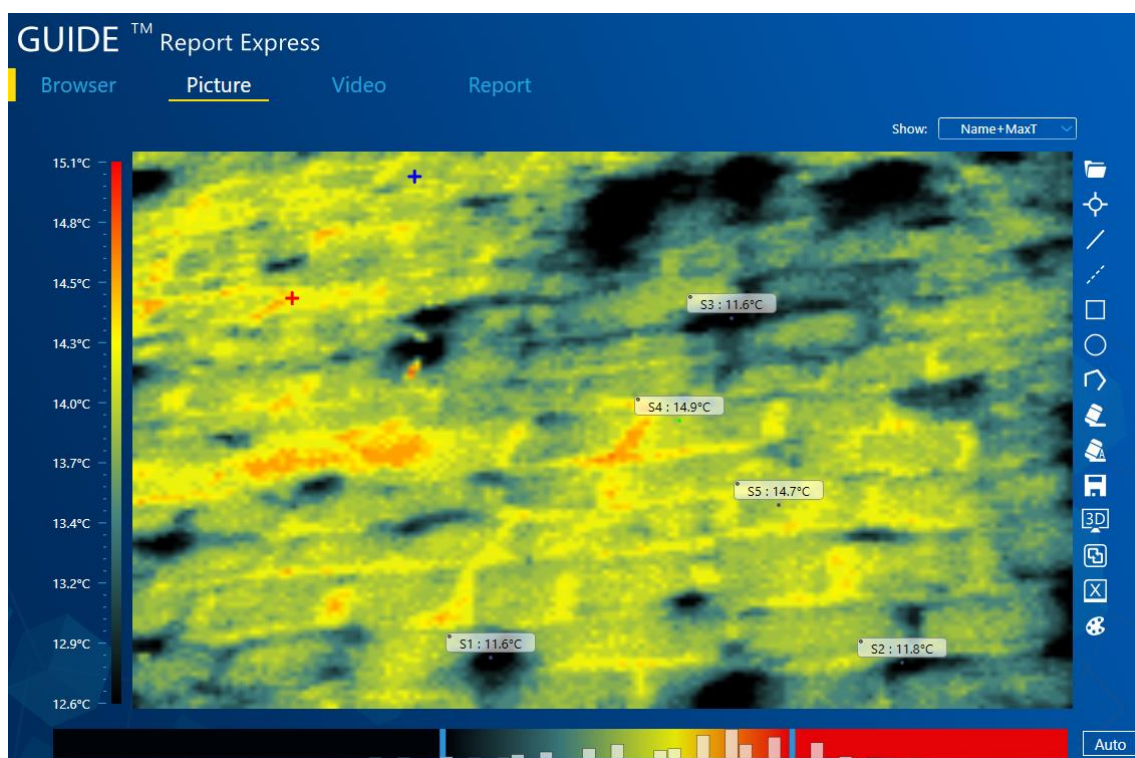


Imagen 4.3 Presa El Labrado, azud. Partes rojas representan vegetación, partes negras filtraciones y el amarillo son los bloques de piedra.  
Fuente: Autor

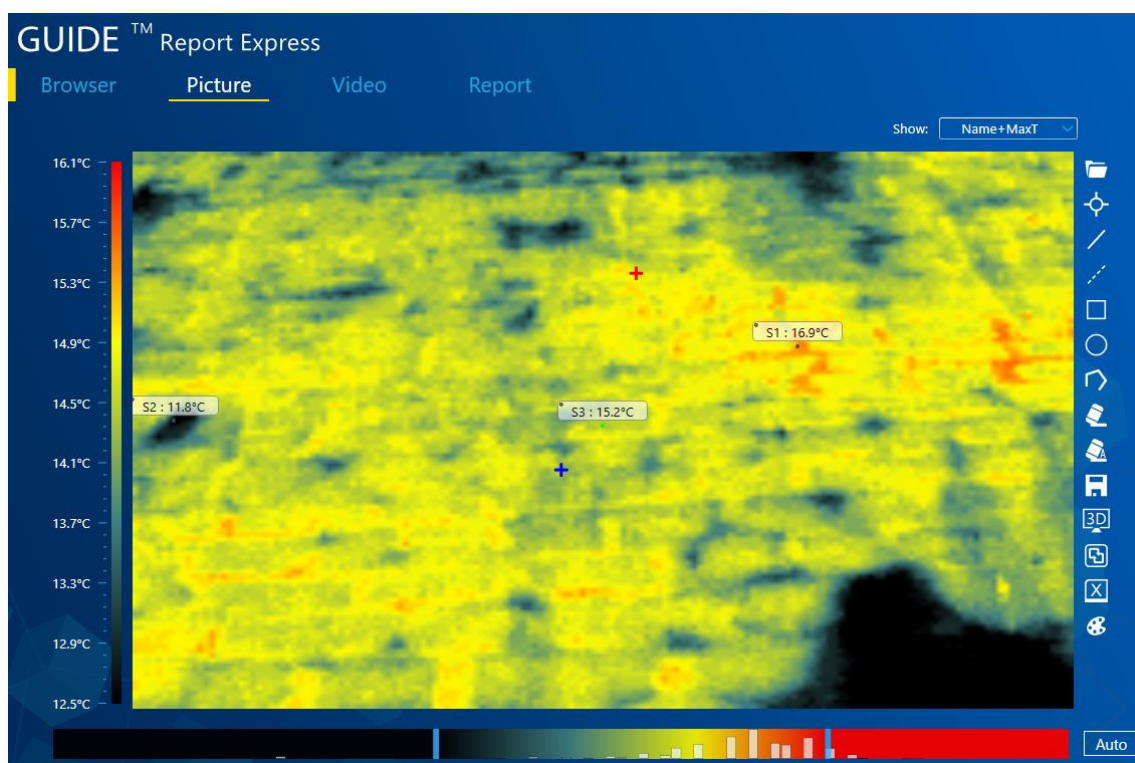


Imagen 4.4 Presa El Labrado, azud. Partes rojas representan vegetación, partes negras filtraciones y partes amarillas bloques de piedra.  
Fuente: Autor

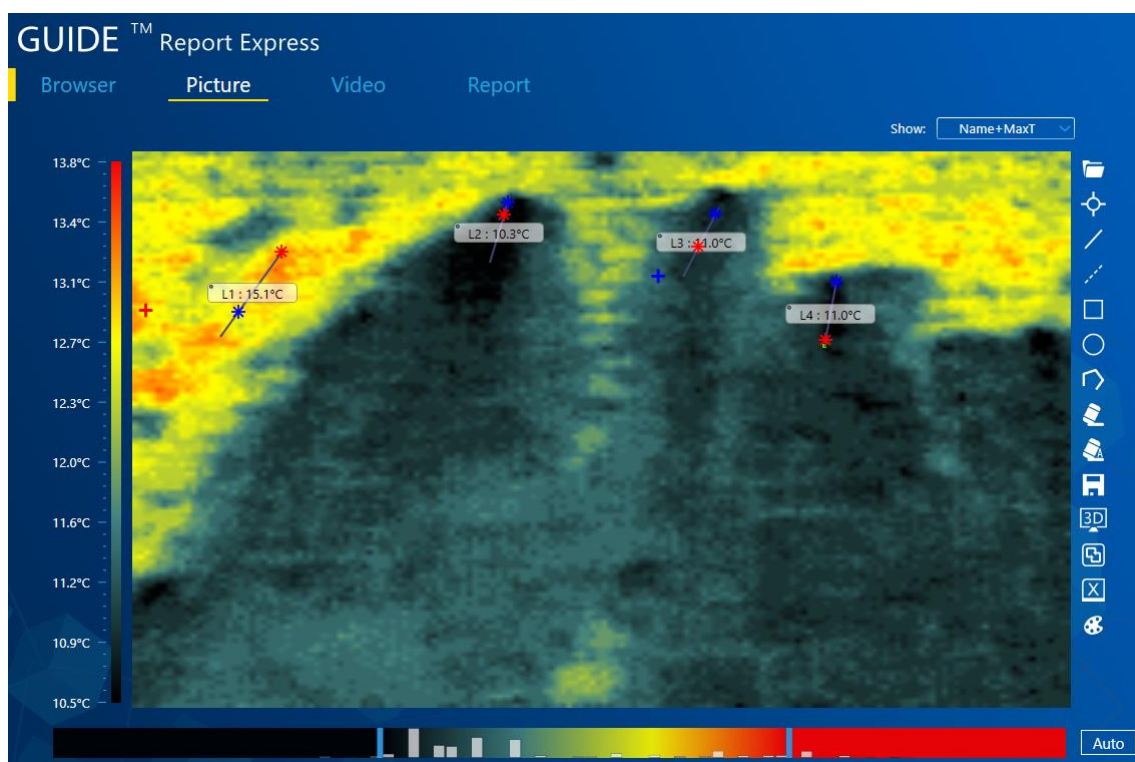


Imagen 4.5 Presa El Labrado, azud. Esguimiento de agua por medio de filtración.  
Fuente: Autor



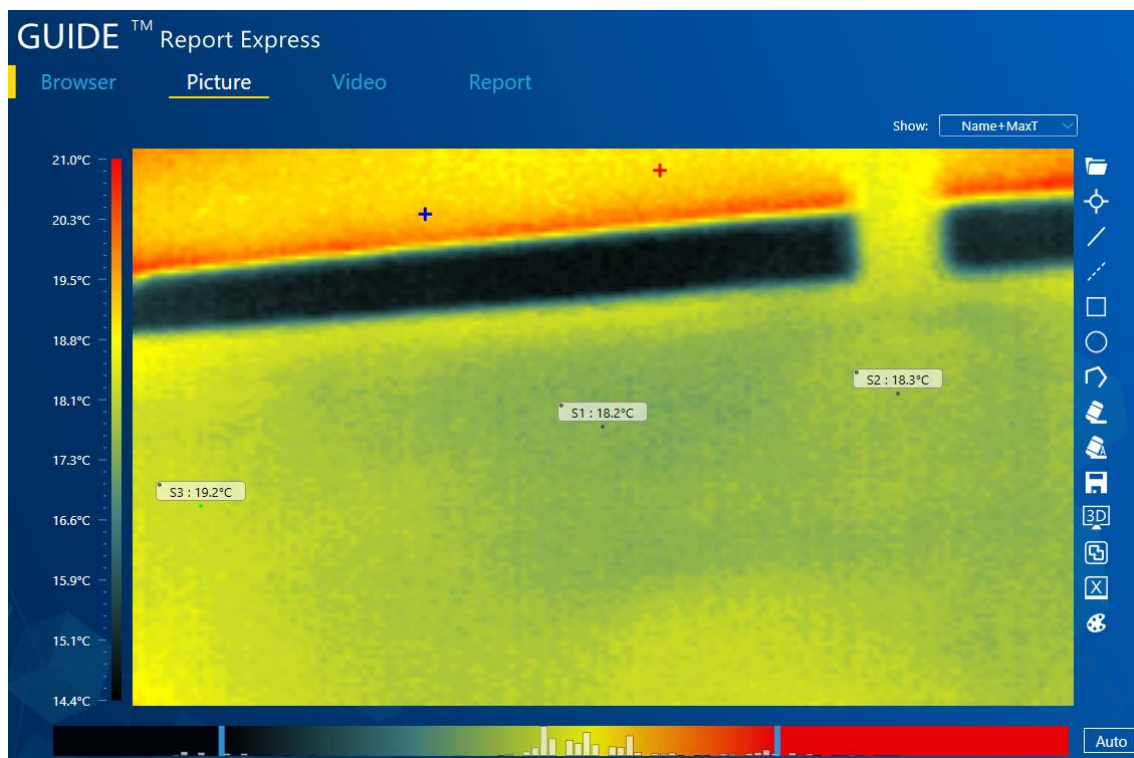


Imagen 4.6 Presa ElLabrado, paramento aguas arriba. Hormigón sano sin cambios bruscos de temperatura.

Fuente: Autor

Como se puede observar en todas las imágenes existen diferentes cambios de temperatura que nos ayuda a identificar cualquier defecto que tenga nuestra presa de acuerdo a las diferencias de temperatura, en este caso vegetación y oquedades. En la imagen 4.5 se puede ver los puntos más deficientes de la presa ya que son las filtraciones por donde más agua se está vertiendo. En la imagen 4.6 se observa el paramento aguas arriba, en donde se determinó de la condición del hormigón como sano ya que no existen cambios bruscos de temperatura. Por lo tanto, las filtraciones solo se producen en la parte del azud.

#### 4.1.5. Grado de severidad

En la tabla 4.5 se muestra la severidad para cada patología del elemento analizado

Tabla 4.5 Análisis del grado de severidad

Elemento	Patología	%Área afectada	Nivel de severidad
Azud labrado	Fisuras	40	Leve
	Oquedades	20	Leve
	Eflorescencia	70	Moderado
	Corrosión	0	Ninguno
	Vegetación	20	Leve
	Delaminación	0	Ninguno
Pasamanería	Fisuras	60	Leve
	Oquedades	0	Ninguno
	Eflorescencia	10	Leve
	Corrosión	0	Ninguno
	Vegetación	20	Leve
	Delaminación	10	Leve





El análisis fue un análisis por medio de una inspección visual

## 4.2. Análisis de resultados del Canal de Conducción

En la figura 4.4 se muestra un tramo del canal de conducción donde se realizaron los ensayos.



En donde:

-  = ensayo de esclerometría
-  = ensayo de adherencia
-  = ensayo de carbonatación
-  = ensayo de ultrasonido

### 4.2.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente

La tabla 4.6 muestra los resultados de las lecturas de profundidad de carbonatación, y las observaciones realizadas.

Tabla 4.6 Determinación de la profundidad de carbonatación

N° de ensayo	Elemento	Carbonatación	Recubrimiento		Abscisa	Observaciones
			Actual	Diseño		
		mm	mm	mm	Km	
1	borde externo	1,03	50	50	0+200	Carbonatación alcanza el 2.06 % del espesor del recubrimiento
2	borde externo	0,63	50	50	0+200	Carbonatación alcanza el 1.26 % del espesor del recubrimiento
3	borde externo	1,18	50	50	0+580	Carbonatación alcanza el 2.36 % del espesor del recubrimiento
4	borde externo	0,65	50	50	0+580	Carbonatación alcanza el 1.3% del espesor del recubrimiento
5	borde externo	0,97	50	50	1+500	Carbonatación alcanza el 1.94 % del espesor del recubrimiento
6	borde externo	0,4	50	50	1+500	Carbonatación alcanza el 0.8 % del espesor del recubrimiento
1	borde externo	0,86	50	50	2+750	Carbonatación alcanza el 1.72 % del espesor del recubrimiento
2	borde externo	0,58	50	50	2+750	Carbonatación alcanza el 1.16 % del espesor del recubrimiento
3	borde externo	1,06	50	50	4+150	Carbonatación alcanza el 2.12 % del espesor del recubrimiento
4	borde externo	0,62	50	50	4+150	Carbonatación alcanza el 1.24 % del espesor del recubrimiento
5	borde externo	1,01	50	50	6+250	Carbonatación alcanza el 2.02 % del espesor del recubrimiento
6	borde externo	0,71	50	50	6+250	Carbonatación alcanza el 1.42 % del espesor del recubrimiento

La profundidad de carbonatación más alta es de 2.36% del recubrimiento, esto quiere decir que la carbonatación en todas las partes externas del canal desde Ladrado al Reservorio de Tuñi es mínima.

La figura 4.4 muestra la vida remanente obtenida para el canal de conducción a partir de los resultados obtenidos de la tabla 4.7 con la metodología propuesta por Tuutti K. Ec. 1 y Ec. 2.

Tabla 4.7 Vida remanente del canal

Profundidad	Año de construcción	Año de Evaluación	Tasa de avance de carbonatación	Recubrimiento	Tiempo	Vida Remanente
mm			mm/año <sup>1/2</sup>	mm	Años	Años
1,18	1980	2018	0,19	50	69250	69212

Teóricamente la vida remanente del canal de conducción es muy grande debido a que la tasa de avance de carbonatación es despreciable, la estructura por carbonatación no sufrirá ningún daño. Mediante la tabla 2.3 se determina la calidad del hormigón en función de  $k$  como buena.

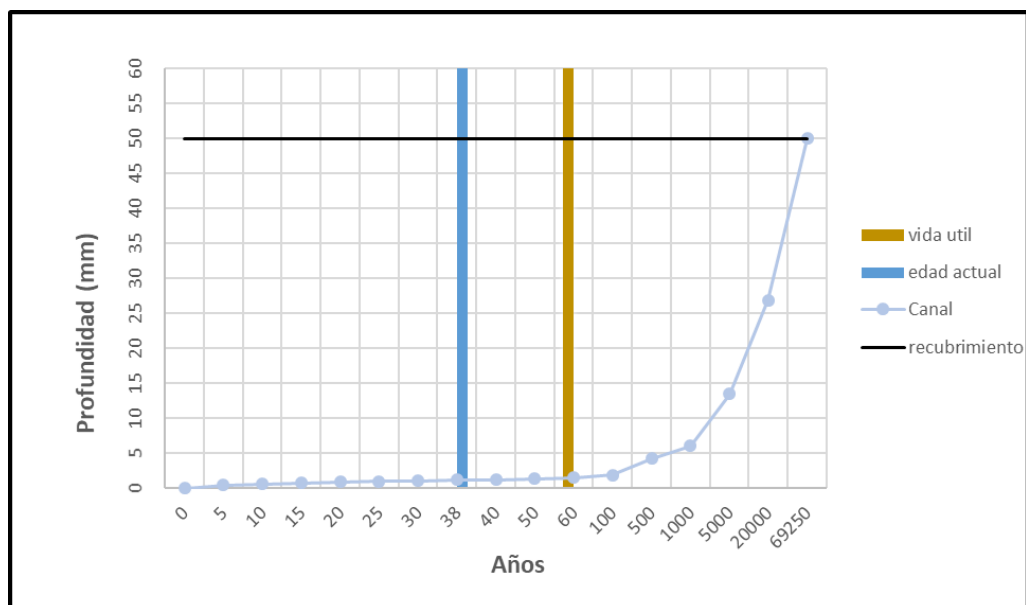


Figura 4.4: vida remanente del canal con un recubrimiento de 50 mm  
Fuente: Autor

#### 4.2.2. Ensayo de esclerometría

La tabla 4.8 muestra los resultados de la fuerza a compresión corregida a partir de los índices esclerométricos.

Tabla 4.8 Determinación de la resistencia a compresión mediante esclerometría

Abscisa	Pnt	Lecturas										Índice de rebote medio	Índice de rebote corregido	Resistencia a Compresión	
Km		q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	q10	Q	Qc	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
0+200	1	32	35	36	31	32	33	31	30	31	34	32,5	32,3	12,9	131,54
	2	36	36	34	37	37	34	34	36	35	34	35,3	35,1	15,1	153,98
	3	36	33	35	34	35	36	35	36	36	36	35,2	35	15	152,96
	4	31	35	33	35	35	35	34	32	35	36	34,1	33,9	14	142,76
	5	31	33	34	31	34	36	32	31	32	34	32,8	32,6	13,1	133,58
	6	30	36	31	34	35	36	34	33	31	31	33,1	32,9	13,4	136,64
	7	30	30	30	35	33	31	34	30	31	33	31,7	31,5	12,4	126,45
	8	30	31	32	34	32	34	31	30	32	34	32	31,8	12,5	127,47
	9	32	34	33	32	35	36	34	32	35	36	33,9	33,7	13,9	141,74
	10	36	32	36	35	34	35	31	31	31	34	33,5	33,3	13,6	138,68
0+580	11	34	33	37	35	36	33	32	31	32	36	33,9	33,7	13,9	141,74
	12	40	39	39	42	40	38	40	39	39	38	39,4	39,2	18,3	186,61
	13	30	30	28	28	27	32	30	30	31	28	29,4	29,2	11,2	114,21
	14	31	29	28	29	31	32	30	30	29	30	29,9	29,7	11,5	117,27
	15	28	28	28	30	29	31	27	28	26	30	28,5	28,3	10,5	107,07
	16	31	30	32	31	33	32	31	34	31	35	32	31,8	12,5	127,47
	17	28	30	30	28	28	30	28	30	31	29	29,2	29	11	112,17
	18	34	33	32	34	36	37	31	31	31	33	33,2	33	13,5	137,66
	19	35	31	32	34	32	31	32	32	34	32	32,5	32,3	12,9	131,54
	20	30	31	35	32	36	33	30	35	36	36	33,4	33,2	13,6	138,68
1+500	21	33	36	34	33	34	33	33	35	33	34	33,8	33,6	13,8	140,72
	22	35	30	31	34	33	32	32	34	32	35	32,8	32,7	13,2	134,6
	23	36	32	33	33	36	32	35	35	33	32	33,7	33,6	13,8	140,72
	24	34	33	34	30	33	31	34	34	33	34	33	32,9	13,4	136,64



	25	31	33	30	32	34	32	31	33	34	32	32,2	32,1	12,7	129,5
	26	30	30	30	35	35	34	32	34	33	32	32,5	32,4	13	132,56
	27	35	33	33	32	33	32	34	35	32	32	33,1	33	13,5	137,66
	28	33	32	33	30	32	32	34	32	34	31	32,3	32,2	12,8	130,52
	29	32	32	34	31	31	31	31	32	32	34	32	31,9	12,6	128,48
	30	31	30	30	31	30	32	34	30	30	32	31	30,9	12,1	123,39
<b>2+750</b>	31	29	34	28	27	28	34	31	28	30	34	30,3	30,2	11,9	121,35
	32	29	33	30	29	30	33	29	33	28	28	30,2	30,1	11,8	120,33
	33	32	29	31	29	32	32	32	30	31	29	30,7	30,6	12	122,37
	34	32	28	30	30	30	30	30	28	27	29	29,4	29,3	11,3	115,23
	35	32	28	30	30	28	28	28	28	31	29	29,2	29,1	11,1	113,19
<b>4+150</b>	36	35	31	31	36	31	35	30	36	36	35	33,6	33,4	13,7	139,7
	37	29	31	29	29	32	33	30	31	33	31	30,8	30,6	12	122,37
	38	29	29	28	32	27	30	32	26	27	29	28,9	28,8	10,8	110,13
	39	28	32	28	29	29	29	32	30	30	28	29,5	29,3	11,3	115,23
	40	34	31	28	31	32	29	31	28	32	32	30,8	30,6	12	122,37
<b>6+250</b>	41	31	34	31	32	31	34	28	32	29	29	31,1	30,9	12,1	123,39
	42	33	32	29	32	32	30	33	30	30	34	31,5	31,3	12,5	127,47
	43	29	30	35	31	33	30	34	29	33	29	31,3	31,1	12,2	124,41
	44	29	28	33	28	30	28	28	29	29	32	29,4	29,2	11,2	114,21
	45	31	35	30	32	34	34	35	30	31	34	32,6	32,4	13	132,56

Promedio 12,7 130

Se obtuvo una resistencia corregida usando las curvas de conversión propuestas por el fabricante del equipo y se obtuvo un promedio de 130 kg/cm<sup>2</sup> (12.77MPa). En el tramo 0+580 la resistencia fue menor que en las demás secciones con un valor de 107 kg/cm<sup>2</sup> (10.5 MPa). Estos resultados, aunque tengan un mediano margen de error, nos sirven de buena manera para tener una idea aceptable del hormigón en nuestro caso los valores no representan un hormigón estructural. En el Anexo 5 se muestra gráficamente el proceso del ensayo.

### 4.2.3. Ensayos de adherencia

La tabla 4.9 muestra los resultados de los esfuerzos a tensión encontrados en las pruebas de adherencia, así como la forma de falla producida. Los ensayos fueron realizados en los bordes externos del canal de hormigón, utilizando pastillas de 5 cm de diámetro.

Tabla 4.9 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia

N° de ensayo	Diámetro	Área	Carga de Tensión		Resistencia Obtenida		Abscisa	Tipo de falla
	cm	cm <sup>2</sup>	kN	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Km	
1	5	19,635	7,64	779,05	39,68	3,89	0+200	100% hormigón
2	5	19,635	6,68	681,16	34,69	3,4	0+200	100% hormigón
3	5	19,635	8,32	848,39	43,21	4,24	0+200	100% hormigón
4	5	19,635	9,03	920,79	46,9	4,6	0+200	100% hormigón
5	5	19,635	7,59	773,95	39,42	3,87	0+200	100% hormigón
6	5	19,635	8,77	894,28	45,55	4,47	0+580	100% hormigón
7	5	19,635	7,74	789,25	40,2	3,94	0+580	100% hormigón
8	5	19,635	9,47	965,66	49,18	4,82	0+580	100% hormigón
9	5	19,635	8,08	823,92	41,96	4,12	1+500	100% hormigón
10	5	19,635	9,29	947,3	48,25	4,73	1+500	100% hormigón
11	5	19,635	10,17	1037,03	52,82	5,18	1+500	100% hormigón
12	5	19,635	10,3	1050,29	53,49	5,25	2+750	100% hormigón
13	5	19,635	9,28	946,28	48,19	4,73	2+750	100% hormigón
14	5	19,635	8,21	837,17	42,64	4,18	2+750	100% hormigón
15	5	19,635	3,44	350,78	17,86	1,75	4+150	100% hormigón
16	5	19,635	2,38	242,69	12,36	1,21	4+150	100% hormigón
17	5	19,635	2,07	211,08	10,75	1,05	4+150	100% hormigón
18	5	19,635	3,03	308,97	15,74	1,54	6+250	100% hormigón
19	5	19,635	2,98	303,87	15,48	1,52	6+250	100% hormigón
20	5	19,635	2,8	285,52	14,54	1,43	6+250	100% hormigón

**Promedio** 3,50

Los resultados de 20 pruebas realizadas indican que solo en el sector 4+150 presentan valores de 1,05MPa y 1,21MPa, estos son los únicos valores menores al valor mínimo de 1,4 MPa dado por la norma para que el sustrato sea útil y pueda ser intervenido para reparaciones de pega, imprimación, inyección y anclaje. Sin embargo, se realizó otra prueba en el mismo



sector que está dentro de la norma. De todas las pruebas se obtuvo un promedio de 3,5 MPa y se considera por lo tanto que todos los sectores del canal de conducción son aptos para ser intervenidos. En el Anexo 4 se muestra en forma gráfica la forma de realización del ensayo y la forma de falla en el Canal de Conducción.

#### 4.2.4. Ensayos de ultrasonido

En la tabla 4.10 se muestra los resultados dados por el ultrasonido, el ensayo se realizó en el borde externo del canal de hormigón y en todos los casos la posición del ultrasonido fue de tal manera para que exista una transmisión indirecta.

Tabla 4.10 Determinación de la condición del hormigón mediante ultrasonido

N° de ensayo	tiempo	distancia	Velocidad	Abscisa
	us	cm	m/s	Km
1	72	20	2778	0+200
2	98,8	20	2024	0+200
3	91,9	20	2176	0+200
4	95,9	20	2086	0+200
5	94,8	20	2110	0+200
6	64,9	20	3082	0+580
7	64,6	20	3096	0+580
8	64	20	3125	0+580
9	62,9	20	3180	1+500
10	74	20	2703	1+500
11	64,4	20	3106	1+500
12	64,8	20	3086	2+750
13	63,9	20	3130	2+750
14	64,9	20	3082	2+750
15	67,9	20	2946	4+150
16	65,9	20	3035	4+150
17	63,8	20	3135	4+150
18	59,8	20	3344	6+250
19	67,1	20	2981	6+250
20	72,8	20	2747	6+250

**Promedio** 2847 m/s

Al comparar este resultado con las tablas 2.4, 2.5 y 2.6 donde especifican la clasificación de concreto dadas en el capítulo 2, se determinó la condición del hormigón como pobre, pobre y regular respectivamente. Entonces correlacionando los resultados obtenidos con los resultados de resistencia a compresión dados por el ensayo de esclerometría podemos confirmar que el hormigón no es un hormigón estructural ya que el ensayo de esclerometría no es tan fiable, pero sumando con los resultados de ultrasonido este tiene más confiabilidad. En el Anexo 8 se muestra el proceso del ensayo

#### 4.2.5. Grado de severidad

En la tabla 4.11 se muestra la severidad de cada patología existente en el canal de conducción.

Tabla 4.11 Análisis del grado de severidad

Elemento	Patología	%Área afectada	Nivel de severidad
canal de conducción	Fisuras	10	Leve
	Oquedades	5	Leve
	Eflorescencia	5	Leve
	Corrosión	0	Ninguno
	Vegetación	40	Leve
	Delaminación	0	Ninguno

Las fisuras están ubicadas en los bordes tienen un largo y ancho despreciable, puede ser el caso de un mal curado. La vegetación se observó a lo largo del canal

#### 4.3. Análisis de resultados del Reservorio de Tuñi

En las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 se muestra la ubicación de los ensayos realizados en el reservorio y en la parte baja de la pasamanería.



Figura 4.5 Ubicación de los ensayos de esclerometría y carbonatación  
Fuente: Autor



Figura 4.6 Ensayos de Potencial de corrosión, ultrasonido y adherencia  
Fuente: Autor



Figura 4.7 ubicación de los ensayos de extracción de núcleos, carbonatación, adherencia y esclerometría  
Fuente: Autor

- En donde:
- ▲ = Ensayo de carbonatación
  - = Ensayo de esclerometría
  - = Ensayo de potencial de corrosión
  - = Ensayo de ultrasonido
  - = Ensayo de adherencia

### 4.3.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente

La tabla 4.12 muestra los resultados obtenidos de la pérdida de Ph, es decir de la profundidad de carbonatación y las observaciones realizadas.

Tabla 4.12 Determinación de la profundidad de carbonatación

N° de ensayo	Ubicación	Elemento	Carbonatación	Recubrimiento		Observaciones
				Actual	Diseño	
			mm	mm	mm	
1	Parte baja de la pasamanería	Muro	1,32	50	50	Carbonatación alcanza el 2.64 % del espesor del recubrimiento
2	Parte baja de la pasamanería	Muro	2,03	50	50	Carbonatación alcanza el 4.06 % del espesor del recubrimiento
3	Parte baja de la pasamanería	Muro	1,52	50	50	Carbonatación alcanza el 3.04 % del espesor del recubrimiento
4	Parte baja de la pasamanería	Piso	2,51	50	50	Carbonatación alcanza el 5.02% del espesor del recubrimiento

5	Parte baja de la pasamanería	Piso	3,23	50	50	Carbonatación alcanza el 6,46 % del espesor del recubrimiento
6	Reservorio	Piso	2,27	20	20	Carbonatación alcanza el 11,4 % del espesor del recubrimiento
7	Reservorio	Piso	1,37	20	20	Carbonatación alcanza el 6,9 % del espesor del recubrimiento
8	Reservorio	Piso	1,43	20	20	Carbonatación alcanza el 7,2 % del espesor del recubrimiento
9	Reservorio	Piso	1,88	20	20	Carbonatación alcanza el 9,4 % del espesor del recubrimiento
10	Reservorio	Piso	2,36	20	20	Carbonatación alcanza el 11,8 % del espesor del recubrimiento

En la parte baja de la pasamanería tenemos resultados de carbonatación mínima, en el piso alcanza valores más altos, pero siguen todos siendo relativamente bajos, lo máximo que alcanza es un 6.46 % del espesor del recubrimiento. En el reservorio la carbonatación alcanza a un máximo de un 11, 8 % del espesor del recubrimiento, los valores de carbonatación en el reservorio son significativos ya que el recubrimiento es mínimo y con el tiempo la carbonatación avanza pudiendo llegar a la malla y ser motivo de preocupación. En el Anexo 2 se indica el proceso de la toma de datos.

La figura 4.8 y 4.9 se muestra la vida remanente obtenida para el reservorio y la parte baja de la pasamanería respectivamente a partir de los resultados obtenidos de la tabla 4.13 con la metodología propuesta por Tuutti K. Ec. 1 y Ec. 2.

Tabla 4.13 Vida remanente del reservorio y la parte baja de la pasamanería

Profundidad	Año de construcción	Año de Evaluación	Tasa de avance de carbonatación	R	Tiempo	Vida Remanente	observación
mm			mm/año <sup>1/2</sup>	mm	Años	Años	
2,36	1980	2018	0,38	20	2770	2732	reservorio
3,23	1980	2018	0,52	50	9240,5	9202,5	muro

Teóricamente la vida remanente del reservorio y del muro son grandes debido a que la tasa de avance de carbonatación es despreciable, la estructura por carbonatación no sufrirá ningún daño. Mediante la tabla 2.3 se determina la calidad del hormigón en función de k como buena.



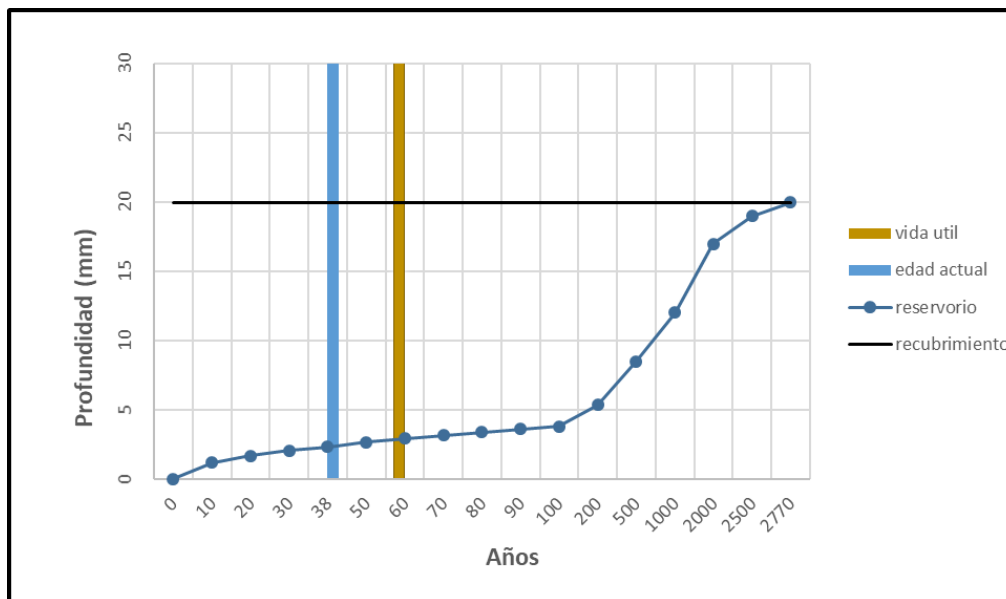


Figura 4.8 vida remanente del reservorio  
Fuente: Autor

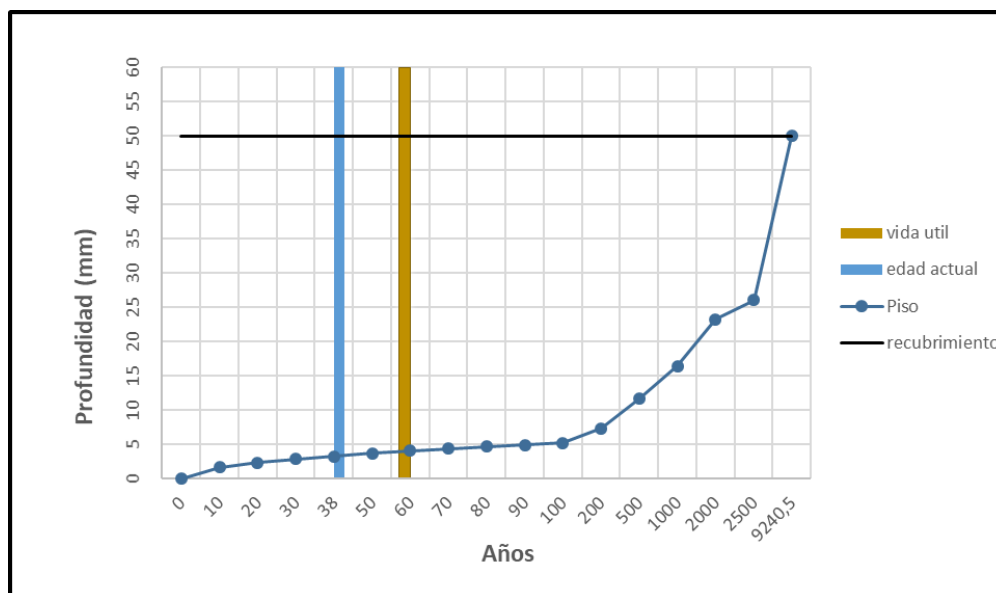


Figura 4.9 vida remanente del piso de la parte baja de la pasamanería  
Fuente: Autor

### 4.3.2. Potencial de corrosión

La tabla 4.14 muestra los resultados obtenidos del estado de avance de corrosión. Este ensayo se realizó solo en el reservorio ya que ahí se tomaron muestras más altas de carbonatación.

Tabla 4.14 Determinación de corrosión electroquímica

N° de ensayo	Elemento	Posición	Lectura	Promedio
			mV	mV
1	reservorio	Superior	-430	<b>-469,7</b>
		intermedio	-478	
		inferior	-501	
2	reservorio	Superior	-452	<b>-462,3</b>
		intermedio	-477	

		inferior	-458	
3	reservorio	Superior	-406	-407,7
		intermedio	-403	
		inferior	-414	
4	reservorio	Superior	-354	-376,3
		intermedio	-384	
		inferior	-391	
5	reservorio	Superior	-362	-417,3
		intermedio	-428	
		inferior	-462	
6	reservorio	Superior	-387	-456,0
		intermedio	-449	
		inferior	-532	
7	reservorio	Superior	-380	-426,3
		intermedio	-406	
		inferior	-493	
8	reservorio	Superior	-442	<b>-474,0</b>
		intermedio	-445	
		inferior	-535	
9	reservorio	Superior	-398	-425,7
		intermedio	-430	
		inferior	-449	
10	reservorio	Superior	-416	-464,3
		intermedio	-478	
		inferior	-499	
11	reservorio	Superior	-405	-462,7
		intermedio	-466	
		inferior	-517	
12	reservorio	Superior	-401	-462,7
		intermedio	-476	
		inferior	-511	
13	reservorio	Superior	-406	-459,7
		intermedio	-472	
		inferior	-501	
14	reservorio	Superior	-392	-421,0
		intermedio	-413	
		inferior	-458	
15	reservorio	Superior	-397	-416,3
		intermedio	-407	
		inferior	-445	
16	reservorio	Superior	-396	-430,7
		intermedio	-418	
		inferior	-478	
17	reservorio	Superior	-368	-402,3
		intermedio	-399	

		inferior	-440	
18	reservorio	Superior	-341	-374,0
		intermedio	-353	
		inferior	-428	
19	reservorio	Superior	-317	-359,7
		intermedio	-346	
		inferior	-416	
20	reservorio	Superior	-320	-351,7
		intermedio	-337	
		inferior	-398	
Promedio				-426,02

Las medidas en el reservorio se tomaron a un metro del extremo superior, luego a 50 cm lo que llamamos intermedio y 50 o 80 cm más abajo que llamamos inferior. Se tomaron 3 medidas cada 120cm para dar con un total de 20 muestras.

Al comparar las mediciones realizadas con la tabla 2.9 de ASTM C 876-91 se justifica que la corrosión esta avanzada, es decir que puede existir un 90% de probabilidades de corrosión, al comparar con el criterio de Stratful (tabla 2.7) se justifica que la condición de la varilla se encuentra en corrosión activa. La corrosión en las varillas puede ser uno de los motivos de que existan fisuras en todo el reservorio, ya que las varillas se expanden cuando se encuentran en este estado y el recubrimiento del reservorio es probablemente muy bajo. En el Anexo 3 se muestra el procedimiento del ensayo.

### 4.3.3. Ensayos de adherencia

La tabla 4.15 muestra los resultados de esfuerzo a tensión, así como el tipo de falla realizados a el hormigón en el reservorio de Tuñi con pastillas redondas de 5 cm de diámetro

Tabla 4.15 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia

N° de ensayo	Elemento	Diámetro	Área	Carga de Tensión		Resistencia Obtenida		Tipo de Falla
		cm	cm <sup>2</sup>	kN	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	
1	Muro centro	5	19,635	3,99	406,86	20,72	2,03	100% hormigón
2	Muro derecho	5	19,635	6,99	712,77	36,3	3,56	100% hormigón
3	Piso salida	5	19,635	7,09	722,97	36,82	3,61	100% hormigón
4	Piso salida	5	19,635	7,2	734,18	37,39	3,67	100% hormigón
5	Muro izquierdo	5	19,635	2,64	269,2	13,71	1,34	100% hormigón
6	Piso reservorio	5	19,635	11,05	1126,77	57,39	5,63	100% hormigón
7	Piso reservorio	5	19,635	13,54	1380,67	70,32	6,9	100% hormigón
8	Piso reservorio	5	19,635	7,48	762,74	38,85	3,81	100% hormigón
9	Piso reservorio	5	19,635	7,38	752,54	38,33	3,76	100% hormigón
10	Piso reservorio	5	19,635	10,74	1095,16	55,78	5,47	100% hormigón
11	Piso reservorio	5	19,635	11,36	1158,38	59	5,79	100% hormigón
12	Piso reservorio	5	19,635	11,67	1189,99	60,61	5,94	100% hormigón

Promedio	Resistencia obtenida	
	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
Promedio piso	37,11	3,64
Promedio muro	23,58	2,79
Promedio reservorio	53,82	5,28

Los valores medios que se obtuvieron en los distintos lugares superan al especificado por la norma ACI 440-2R. El esfuerzo a tensión más bajo es de 1,34 MPa en el muro de la parte baja de la pasamanería, este valor es el único que no cumple con lo especificado en la norma, este valor puede ser descartado debido a la inexperiencia del operador. El sustrato es adecuado para ser intervenido para reparaciones de pega, imprimación, inyección y anclaje. En la sección 3.4 y en el Anexo 4 se muestra el proceso del ensayo.

#### 4.3.4. Ensayo de esclerometría

La tabla 4.16 y tabla 4. 17 muestran los resultados de la resistencia a compresión del reservorio y de la parte baja de la pasamanería respectivamente. Para realizar este ensayo en este lugar se utilizó el martillo por lo que los resultados promedios obtenidos se obtienen a partir de las curvas esclerométricas y correcciones dadas para este instrumento. Los resultados para los muros y piso se correlacionará con la resistencia encontrada en las pruebas de compresión en núcleos que se muestran en la sección 4.3.5 para luego encontrar la resistencia a compresión asociada y corregida con el índice esclerométrico.



Tabla 4.16 Determinación de la resistencia a compresión en el reservorio mediante esclerometría

Pts.	Lecturas										Max	Min	Promedio	Desviación. Estándar	Posición	Resistencia a Compresión
											N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			Kg/cm <sup>2</sup>
1	35	39	36	34	36	34	36	38	39	34	39	34	36,1	1,87	A	336
2	36	35	35	32	33	32	35	36	34	34	36	32	34,2	1,4	AB	332
3	33	35	35	34	36	33	37	33	36	34	37	33	34,6	1,36	AB	339
4	39	39	35	38	38	35	34	37	39	39	39	34	37,3	1,85	AB	382
5	34	34	36	34	37	35	34	33	33	35	37	33	34,5	1,2	AB	337
6	38	35	37	34	38	35	34	35	34	39	39	34	35,9	1,81	AB	351
7	32	33	30	31	31	33	32	30	30	33	33	30	31,5	1,2	AB	284
8	35	35	34	34	32	33	34	34	32	31	35	31	33,4	1,28	A	286
9	33	34	36	33	33	32	33	32	31	30	36	30	32,7	1,55	AB	306
10	35	34	30	30	35	30	30	30	34	32	35	30	32	2,14	AB	304
11	30	30	35	31	30	31	30	29	34	29	35	29	30,9	1,92	AB	282
12	35	31	33	33	34	32	31	34	31	33	35	31	32,7	1,35	AB	306
13	33	31	30	30	31	32	34	31	30	33	34	30	31,5	1,36	AB	284
14	32	34	35	31	36	31	35	34	33	34	36	31	33,5	1,63	A	287
15	36	36	36	32	34	36	32	32	36	35	36	32	34,5	1,75	AB	337
16	33	32	32	38	32	35	34	37	38	38	38	32	34,9	2,51	AB	345
17	32	31	30	29	28	29	28	28	30	31	32	28	29,6	1,36	AB	259
18	38	38	40	37	35	36	38	40	37	38	40	35	37,7	1,49	AB	386

19	29	31	30	32	31	31	34	33	34	33	34	29	31,8	1,6	AB	286
20	29	28	26	25	25	29	25	30	30	29	30	25	27,6	2,01	AB	224
21	33	34	33	31	35	35	36	35	34	34	36	31	34	1,34	A	300
22	32	32	32	31	34	34	36	32	34	32	36	31	32,9	1,45	AB	307
23	34	36	37	36	34	38	35	37	34	36	38	34	35,7	1,35	AB	349
24	35	33	33	35	34	33	36	36	35	34	36	33	34,4	1,11	AB	336
25	37	36	35	34	33	37	36	31	33	33	37	31	34,5	1,91	AB	337
26	37	36	37	35	36	37	37	32	36	32	37	32	35,5	1,86	AB	348
27	35	38	33	33	32	33	33	36	35	36	38	32	34,4	1,8	AB	336
28	33	30	29	31	29	33	33	28	32	33	33	28	31,1	1,87	A	254
29	32	31	33	28	29	29	32	30	29	28	33	28	30,1	1,7	AB	276
30	32	32	28	29	32	32	28	28	32	32	32	28	30,5	1,86	AB	279
31	22	22	24	26	21	22	24	24	22	22	26	21	22,9	1,45	AB	160
32	28	33	28	30	32	29	30	28	28	30	33	28	29,6	1,69	AB	252
33	32	30	31	34	30	30	29	29	30	32	34	29	30,7	1,49	AB	281
34	29	32	34	33	35	29	30	33	30	31	35	29	31,6	2,01	AB	285
35	30	32	29	28	27	30	26	32	30	30	32	26	29,4	1,85	A	225
36	34	32	32	30	34	34	36	34	31	31	36	30	32,8	1,78	AB	307
37	34	34	34	36	36	33	32	34	35	35	36	32	34,3	1,19	AB	335
38	37	36	33	34	34	33	33	35	34	34	37	33	34,3	1,27	AB	335
39	22	23	25	24	26	23	22	22	24	23	26	22	23,4	1,28	AB	164
40	29	29	29	28	28	30	30	26	28	28	30	26	28,5	1,12	AB	234
41	31	33	36	30	35	30	33	30	30	34	36	30	32,2	2,18	AB	305
42	30	31	35	35	36	34	36	30	32	34	36	30	33,3	2,24	A	285
43	33	33	33	35	36	33	33	37	36	33	37	33	34,2	1,54	AB	334

44	32	33	32	30	29	28	30	33	28	30	33	28	30,5	1,8	AB	279
45	32	34	33	30	36	33	34	32	34	32	36	30	33	1,55	AB	309
46	29	29	31	29	28	33	31	33	29	31	33	28	30,3	1,68	AB	277
47	33	30	32	33	31	32	35	30	30	30	35	30	31,6	1,62	AB	285
48	28	33	31	32	28	29	29	31	30	28	33	28	29,9	1,7	AB	254
49	24	25	24	26	25	24	27	25	28	26	28	24	25,4	1,28	AB	224
50	30	32	36	32	31	32	30	33	32	30	36	30	31,8	1,72	A	260
															Promedio	295,03

Se calculo una esclerometría media de 295,03 Kg/cm<sup>2</sup>, aunque el valor tiene un margen de error medio nos sirve para tener una idea de la resistencia. Este resultado nos muestra que el hormigón es aceptable para ser intervenido para una reparación.

Tabla 4.17 Determinación de la resistencia a la compresión en la parte baja de la pasamanería mediante esclerometría

Ubicación	Pts.	Lecturas										Max	Min	Pmd.	Desviación estándar	Posición	Resistencia	Observación
												N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			Kg/cm <sup>2</sup>	
muro salida	51	32	30	29	29	30	30	34	31	30	31	34	29	30,6	1,43	A	250	
muro salida	52	34	34	30	35	31	30	33	35	35	32	35	30	32,9	1,92	A	284	
muro salida	53	34	34	34	33	36	33	35	32	34	34	36	32	33,9	1,04	A	296	
muro salida	54	30	36	36	32	31	34	30	32	34	32	36	30	32,7	2,1	A	282	sección núcleo 3
muro salida	55	30	34	34	32	34	33	30	31	33	31	34	30	32,2	1,54	A	265	sección núcleo 4
muro salida	56	30	33	31	34	33	31	30	34	32	34	34	30	32,2	1,54	A	265	
muro salida	57	31	32	30	32	30	33	34	34	31	31	34	30	31,8	1,4	A	260	
muro salida	58	23	26	21	26	24	27	27	26	21	25	27	21	24,6	2,15	A	148	sección núcleo 1
muro salida	59	26	24	24	24	25	24	25	25	25	27	27	24	24,9	0,94	A	162	sección núcleo 1
piso derecho	60	23	20	22	20	21	20	20	19	19	21	23	19	20,5	1,2	B	152	sección núcleo 4

piso derecho	61	21	24	23	23	21	22	21	22	21	24	24	21	22,2	1,17	B	168	sección núcleo 4
piso derecho	62	22	23	20	20	23	21	22	18	18	18	23	18	20,5	1,91	B	152	sección núcleo 4
piso derecho	63	29	29	27	27	29	24	24	24	25	24	29	24	26,2	2,14	B	226	
piso derecho	64	27	23	24	26	26	20	23	24	26	25	27	20	24,4	1,96	B	201	
piso derecho	65	26	26	30	29	24	26	30	26	26	26	30	24	26,9	1,92	B	236	
piso derecho	66	24	30	33	34	33	31	33	30	30	31	34	24	30,9	2,7	B	300	sección núcleo 2
piso derecho	67	28	29	28	31	28	28	27	30	29	32	32	27	29	1,48	B	264	sección núcleo 2
piso derecho	68	24	26	26	24	23	26	22	27	25	26	27	22	24,9	1,51	B	204	sección núcleo 2
piso derecho	69	23	22	20	22	21	18	20	23	20	22	23	18	21,1	1,51	B	160	
pared izquierda	70	29	29	27	27	29	28	27	25	26	28	29	25	27,5	1,28	A	201	
pared izquierda	71	25	24	26	25	27	28	28	28	26	26	28	24	26,3	1,35	A	179	
pared izquierda	72	24	27	23	23	26	23	25	22	23	26	27	22	24,2	1,6	A	145	
pared izquierda	73	25	27	28	26	24	24	25	25	26	27	28	24	25,7	1,27	A	108	
piso izquierdo	74	24	26	29	26	28	28	25	26	24	30	30	24	26,6	1,96	B	230	
piso izquierdo	75	25	26	27	27	25	23	25	28	27	28	28	23	26,1	1,51	B	225	
piso izquierdo	76	22	24	21	21	22	24	22	21	23	23	24	21	22,3	1,1	B	150	
piso izquierdo	77	24	20	25	22	21	23	24	22	20	25	25	20	22,6	1,8	B	153	
piso izquierdo	78	20	22	23	21	19	20	19	23	20	21	23	19	20,8	1,4	B	155	
piso izquierdo	79	21	21	21	20	20	19	19	18	21	20	21	18	20	1	B	142	
piso izquierdo	80	19	23	22	20	19	20	19	21	24	20	24	19	20,7	1,68	B	154	

Promedio	Kg/cm2
Promedio muro	218,84
Promedio piso	192,47

Estos valores vamos a correlacionar con los valores de resistencia a compresión dados en la siguiente sección obtenidos de la perforación de núcleos

### 4.3.5. Ensayo de núcleos perforados

En la tabla 4.18 se muestra los resultados obtenidos de la resistencia a compresión de núcleos de hormigón.

Tabla 4.18 Ensayo de núcleos perforados

NUCLEO	PESO	ALTURA	DIAMETRO	AREA	P. VOL	CARGA ROTURA	RELACION	CORRECCION	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	OBSERVACIONES
#	gr	cm	cm	cm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kN	L/D	ASTM C 39	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
1	799,79	9,99	6,95	37,94	2110,33	16,3	1,44	0,9528	43,81	41,74	MURO
2	1532,61	17,72	6,95	37,94	2279,86	49,4	2,55	1,02	132,78	135,43	PISO
3	713,82	8,21	6,94	37,83	2298,46	18,5	1,18	0,9132	49,87	45,54	MURO
4	1013,55	11,83	6,96	38,05	2251,92	33,4	1,7	0,976	89,52	87,37	PISO

En la tabla 4.19 se muestra la correlación de los resultados de compresión simple obtenidos mediante el ensayo esclerométrico y los núcleos de hormigón

Tabla 4.19 Resistencia a la compresión corregida

Elemento	Re	Rcp Prensa	Ki	k	Rac
	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>			Kg/cm <sup>2</sup>
Muro	89,79	41,74	0,46486246	0,376	33,77
Muro	158,43	45,54	0,28744556	0,376	59,56
Piso	148,3	132,78	0,89534727	0,927	137,47
Piso	91,14	87,37	0,95863507	0,927	84,49



En donde:

$R_e$ = Resistencia a compresión asociado con el índice esclerométrico sin corregir

$R_{cp}$ = Resistencia a compresión del testigo o núcleo

$K_i$ =  $R_{cp}/R_e$

$K$ = Promedio  $K_i$

$R_{ac}$ = Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregida

La resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico sin corregir son valores promedios de los datos tomados solo en la sección de cada elemento, es decir se realizó esclerometría alrededor de cada núcleo que se extrajo.

Los valores indican que la condición del hormigón en la parte baja de la pasamanería es un hormigón no estructural. En el Anexo 5 y en la sección 3.5 se muestra el proceso del ensayo.

#### 4.3.6. Ensayo de ultrasonido

En tabla 4.20 se muestra los resultados de velocidades ultrasónicas con las que determinaremos la condición del hormigón en el reservorio

Tabla 4.20 Determinación de la condición del hormigón mediante ultrasonido

Nº de ensayo	Elemento	Posición del ultrasonido	Tiempo	Distancia	Velocidad
			us	cm	m/s
1	reservorio	indirecta	102	20	1961
2	reservorio	indirecta	96,5	20	2073
3	reservorio	indirecta	101,9	20	1963
4	reservorio	indirecta	122,3	20	1635
5	reservorio	indirecta	96,7	20	2068
6	reservorio	indirecta	136,8	20	1462
7	reservorio	indirecta	98,7	20	2026
8	reservorio	indirecta	76,2	20	2625
9	reservorio	indirecta	98,3	20	2035
10	reservorio	indirecta	85,4	20	2342
11	reservorio	indirecta	92,4	20	2165
12	reservorio	indirecta	99,8	20	2004
13	reservorio	indirecta	96,9	20	2064
14	reservorio	indirecta	97,3	20	2055
15	reservorio	indirecta	98,1	20	2039
Promedio					2034

Al comparar el resultado promedio con las tablas 2.4, 2.5 y 2.6 dadas en la sección 2.8.2 se justifica que la condición del hormigón es muy pobre, pobre y pobre respectivamente. Sumando los resultados obtenidos por los ensayos de carbonatación y potencial de corrosión se determinó que el hormigón está en malas condiciones. Podemos concluir que la esclerometría realizada en este sector es de baja confiabilidad.

La tabla 4.21 muestra la profundidad de las fisuras que se encuentran en el reservorio.

Tabla 4.21 Determinación de la profundidad de las fisuras mediante ultrasonido

N° ensayo	de Elemento	tiempo 1	tiempo 2	distancia	profundidad
		us	us	cm	cm
1	reservorio	infinito	infinito	10	PASANTE
2	reservorio	infinito	infinito	10	PASANTE
3	reservorio	97,2	170,9	10	6,59
4	reservorio	365	689	10	4,13
5	reservorio	infinito	infinito	10	PASANTE
6	reservorio	infinito	infinito	10	PASANTE
7	reservorio	infinito	infinito	10	PASANTE
8	reservorio	190,8	376	10	2,01
9	reservorio	infinito	infinito	10	PASANTE
10	reservorio	265	487	10	5,12

El reservorio tiene una capa de hormigón de 10 cm, se encontraron fisuras que pasantes es decir que atraviesan completamente la capa de hormigón. Con un análisis visual se puede apreciar que las fisuras están en todo el reservorio. En el Anexo 8 se muestra gráficamente el proceso del ensayo de ultrasonido.

#### 4.3.7. Grado de severidad

En la tabla 4.22 se indica los resultados de las patologías encontradas en el reservorio y en la parte baja de la pasamanería.

Tabla 4.22 Análisis del grado de severidad

Elemento	Patología	%Área afectada	Nivel de severidad
reservorio	Fisuras	70	Moderado
	Oquedades	10	Leve
	Eflorescencia	0	Ninguno
	Corrosión	90	Moderado
	Vegetación	20	Leve
	Delaminación	15	Leve
parte baja de la pasamanería	Fisuras	50	Leve
	Oquedades	5	Ninguno
	Eflorescencia	10	Leve
	Vegetación	35	Leve
	Delaminación	40	Leve

La corrosión, las fisuras y la delaminación fueron las patologías con un nivel medio.

#### 4.3.8. Termografía infrarroja

Las siguientes imágenes muestran gráficamente el análisis realizado en el Reservorio de Tuñi.

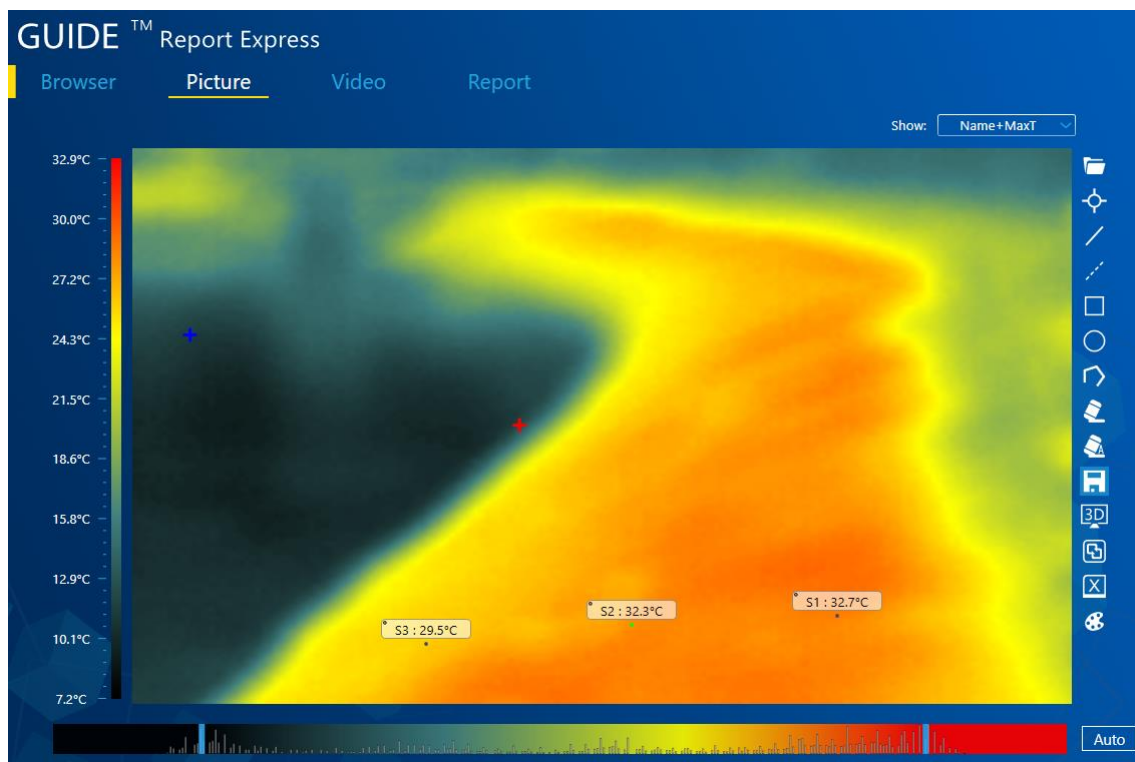


Imagen 4.7 Reservoir de Tuñi. Punto S3 bajo de temperatura porque el agua acaba de bajar. Hormigón homogéneo.  
Fuente: Autor

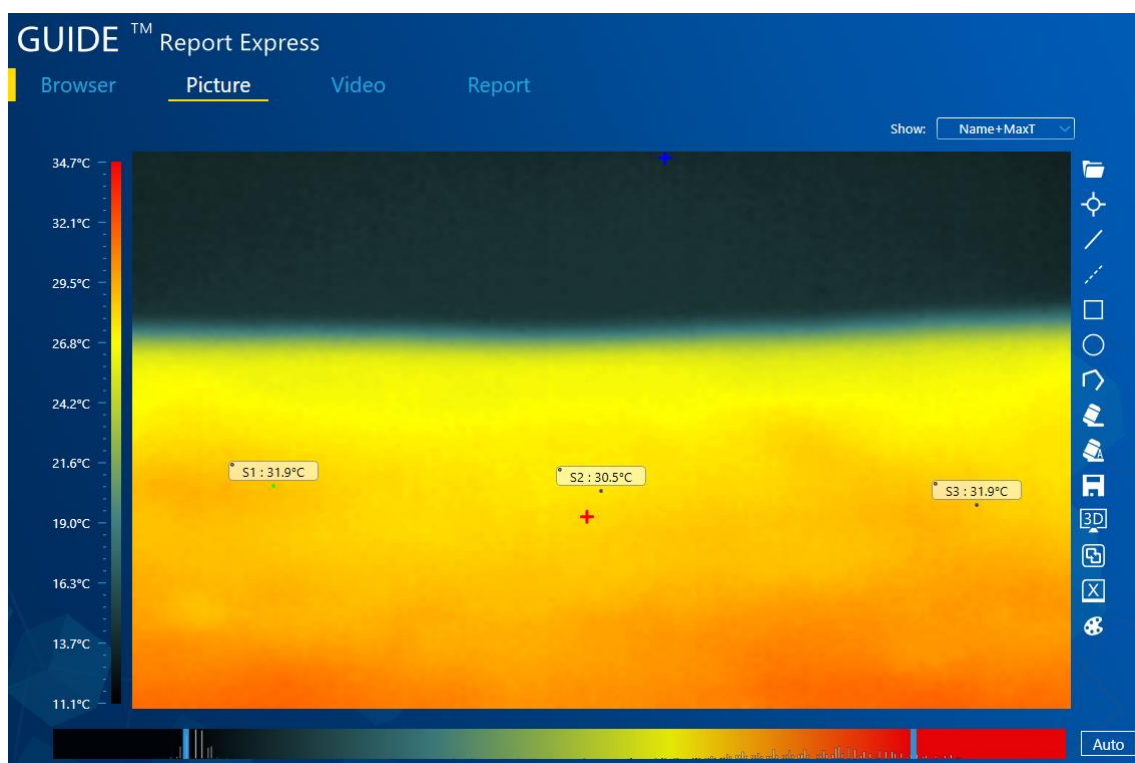


Imagen 4.8 Reservoir de Tuñi. Sin cambios de temperatura.  
Fuente: Autor

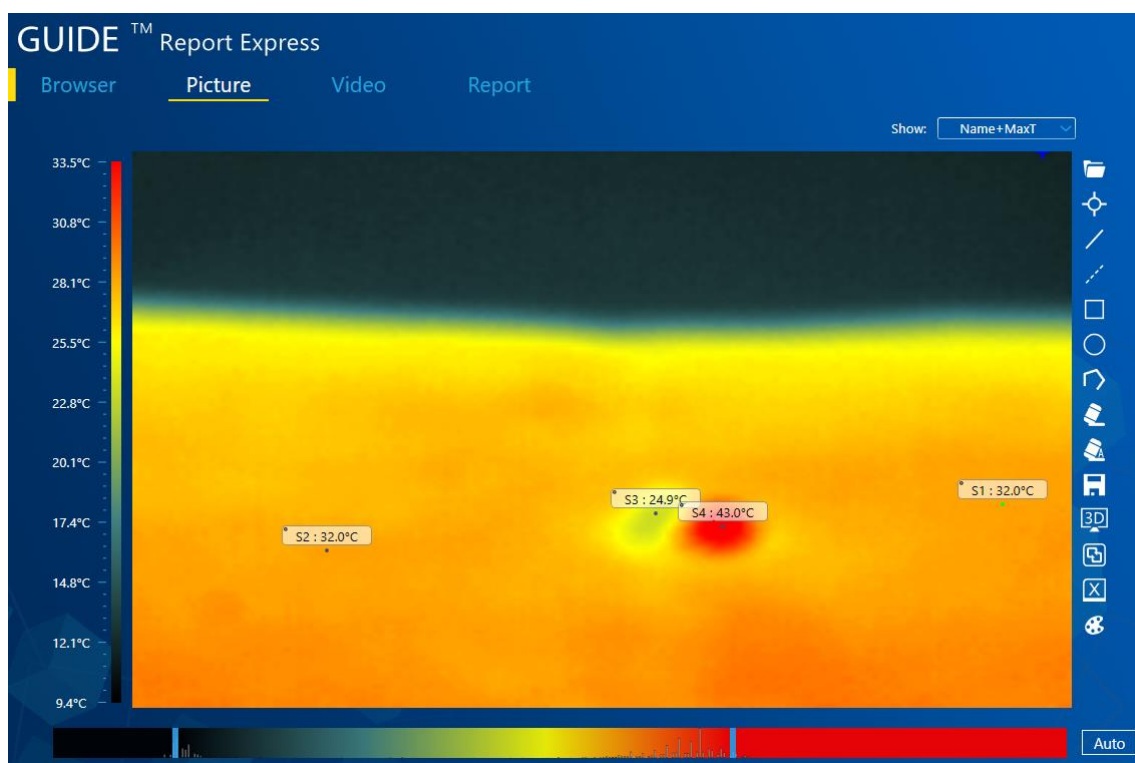


Imagen 4.9 Reservorio de Tuñi. Puntos S1 y S2 pertenecen a hormigón homogéneo, punto S3 fisura y punto S4 vegetación  
Fuente: Autor

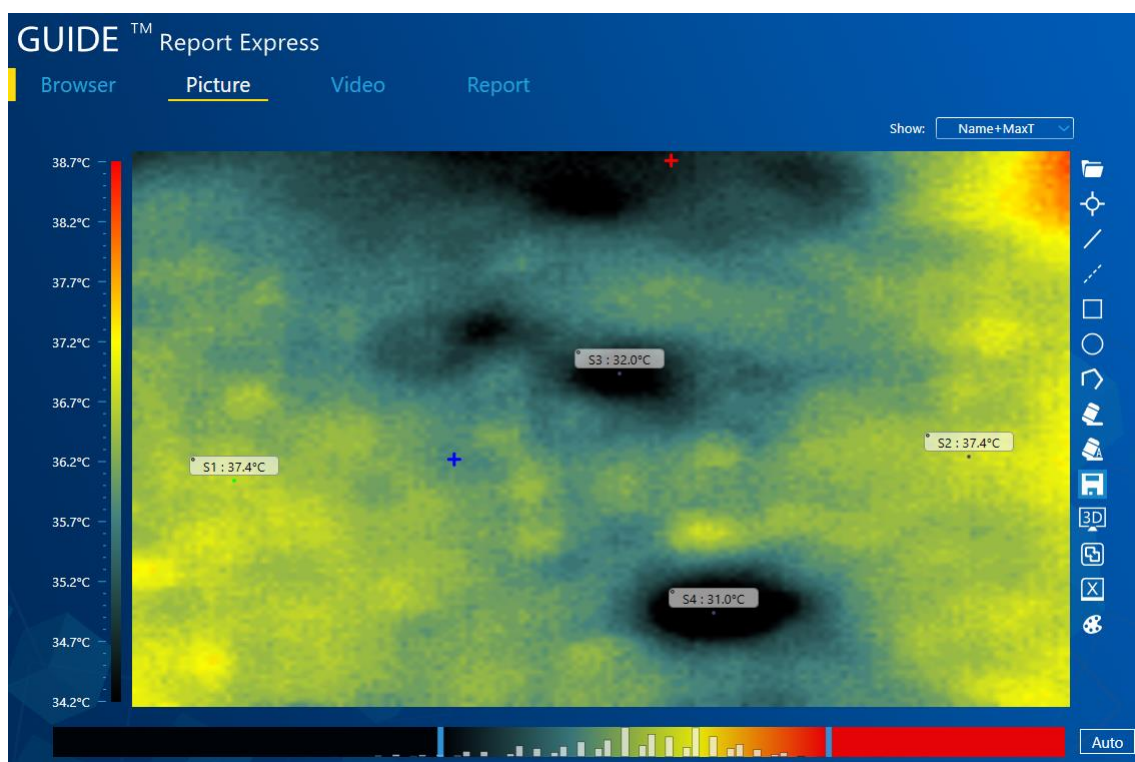


Imagen 4.10 Reservorio de Tuñi. Puntos S1 y S2 pertenecen a hormigón homogéneo, punto S3 y S4 fisuración.  
Fuente: Autor



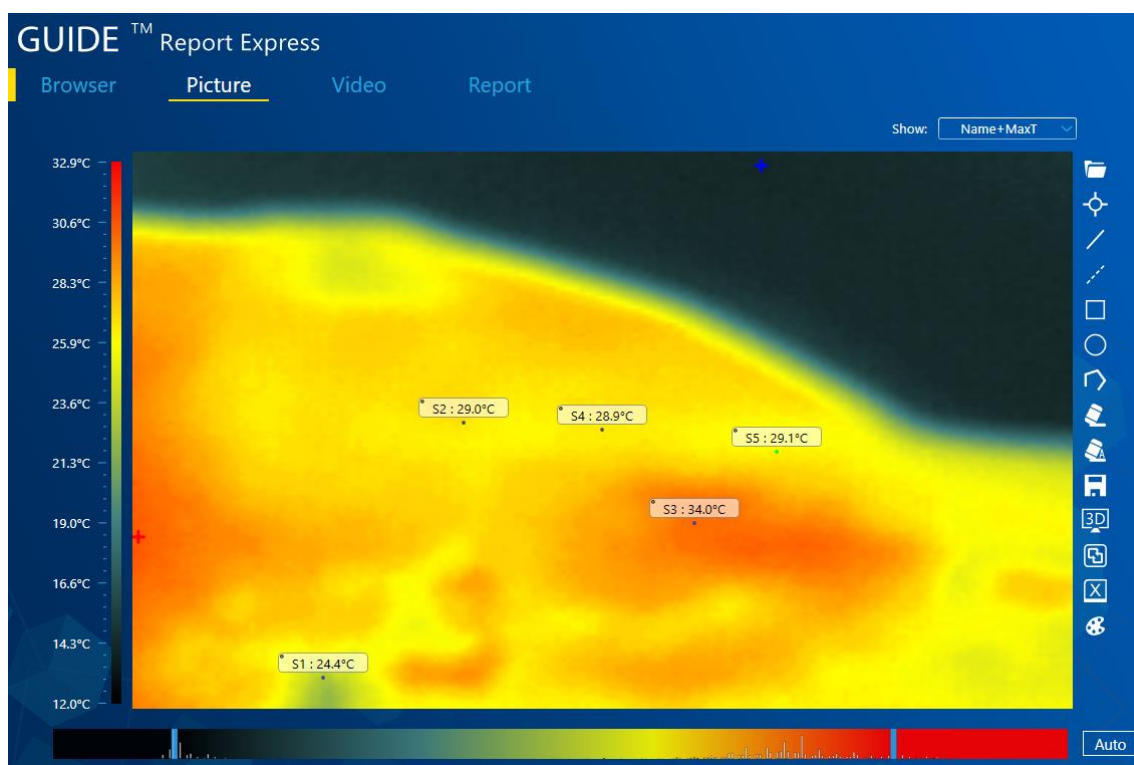


Imagen 4.11 Reservoirio de Tuñi. Puntos S2, S4 y S5 pertenecen a hormigón homogéneo, punto S1 fisura y punto S3 vegetación  
Fuente: Autor

Cada una de las imágenes nos permite identificar lo que está ocurriendo a la vista o por dentro del Reservoirio gracias a sus cambios de temperatura notorios, en estos casos se pudo identificar fisuras y vegetación. En la imagen 4.10 se puede observar la gran cantidad de agua que se encuentra en la pared del reservoirio que ha salido por una fisura y así existen muchos sectores comprometidos, pero también se pudo observar gran parte de hormigón sano como el de las imágenes 4.7 y 4.8.

#### 4.4. Análisis de resultados de Presa Chanlud

En la figura 4.10 y 4.11 se muestran la ubicación de los ensayos de adherencia, potencial de corrosión y profundidad de carbonatación.



Figura 4.10 Ubicación de los puntos de los ensayos de adherencia.  
Fuente: Autor





Figura 4.11 Ubicación de los puntos de los ensayos de adherencia y carbonatación.

Fuente: Autor

- En donde:
- ▲ = Ensayo de carbonatación
  - = Ensayo de potencial de corrosión
  - = Ensayo de adherencia

#### 4.4.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente

La tabla 4.23 muestra los resultados obtenidos de la pérdida de Ph, es decir de la profundidad de carbonatación y las observaciones realizadas.

Tabla 4.23 Determinación de la profundidad de carbonatación

N° de ensayo	Elemento	Carbonatación	Recubrimiento		Observaciones
			Actual	Diseño	
		mm	mm	mm	
1	pasamanería	1,36	18,64	20	Carbonatación alcanza el 6,8 % del espesor del recubrimiento
2	pasamanería	0,99	19,01	20	Carbonatación alcanza el 4,9 % del espesor del recubrimiento

3	pasamanería	1,03	18,97	20	Carbonatación alcanza el 5,1 % del espesor del recubrimiento
4	pasamanería	0,72	19,28	20	Carbonatación alcanza el 3,6 % del espesor del recubrimiento
5	pasamanería	1,05	18,95	20	Carbonatación alcanza el 5,2 % del espesor del recubrimiento

Al igual que las demás estructuras existe una profundidad de carbonatación mínima, el mayor alcance de carbonatación es de 6,8% del espesor de recubrimiento, ya que es algo natural que ocurre en el hormigón, no debemos preocuparnos de la carbonatación en esta estructura ya que es inferior al recubrimiento de las armaduras. En el Anexo 2 se muestra el proceso que se realizó para determinar la profundidad de carbonatación.

La figura 4.12 muestra la vida remanente obtenida para el canal de conducción a partir de los resultados obtenidos de la tabla 4.24 con la metodología propuesta por Tuutti K. Ec. 1 y Ec. 2.

Tabla 4.24 Vida remanente de la pasamanería

Profundidad	Año de construcción	Año de Evaluación	Tasa de avance de carbonatación	Recubrimiento	Tiempo	Vida Remanente
mm			mm/año <sup>1/2</sup>	mm	Años	Años
1,19	1996	2018	0,25	20	6400	6378

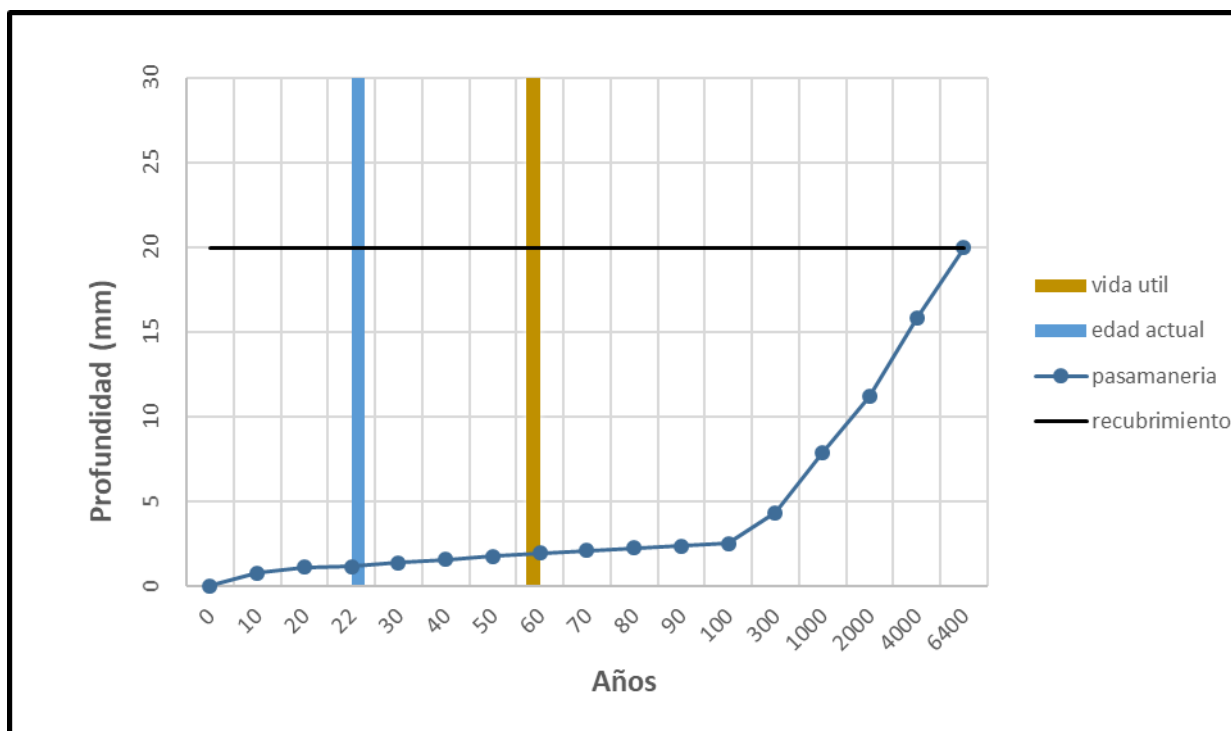


Figura 4.12 Vida remanente de la pasamanería.

Fuente: Autor

Teóricamente la vida remanente de la pasamanería es grande debido a que la tasa de avance de carbonatación es despreciable, la estructura por carbonatación no sufrirá ningún daño. Mediante la tabla 2.3 se determina la calidad del hormigón en función de  $k$  como buena.

#### 4.4.2. Potencial de corrosión

La tabla 4.25 muestra los resultados obtenidos del estado de avance de corrosión en las varillas.

Tabla 4.25 Determinación de corrosión electroquímica

N° de ensayo	Elemento	Posición	Lectura	Promedio
			mV	mV
1	pasamanería	derecha	-120,3	-126,0
		intermedio	-124,7	
		izquierda	-133,1	
2	pasamanería	derecha	-136,6	<b>-144,7</b>
		intermedio	-151,2	
		izquierda	-146,2	
3	pasamanería	derecha	-106,8	-118,1
		intermedio	-133,8	
		izquierda	-113,7	
4	pasamanería	derecha	-76,2	-119,0
		intermedio	-129,4	
		izquierda	-151,3	
5	pasamanería	derecha	-143,3	<b>-148,6</b>
		intermedio	-152,3	
		izquierda	-150,1	
6	pasamanería	derecha	-140,5	<b>-147,5</b>
		intermedio	-153,4	
		izquierda	-148,6	
7	pasamanería	derecha	-116,3	-125,0
		intermedio	-127,6	
		izquierda	-131,1	
8	pasamanería	derecha	-118,2	-132,5
		intermedio	-137,1	
		izquierda	-142,2	
9	pasamanería	derecha	-103,4	-128,5
		intermedio	-155,4	
		izquierda	-126,7	
10	pasamanería	derecha	-98,3	-124,7
		intermedio	-158,8	
		izquierda	-117,1	
11	pasamanería	derecha	-95,6	-121,6
		intermedio	-145,9	
		izquierda	-123,2	

12	pasamanería	derecha	-104,8	-119,4
		intermedio	-131,7	
		izquierda	-121,7	
13	pasamanería	derecha	-111,6	-124,8
		intermedio	-126,6	
		izquierda	-136,1	
14	pasamanería	derecha	-99,4	-127,4
		intermedio	-142,6	
		izquierda	-140,1	
15	pasamanería	derecha	-120,7	-119,4
		intermedio	-118,3	
		izquierda	-119,2	
16	pasamanería	derecha	-128,9	-126,5
		intermedio	-129,4	
		izquierda	-121,2	
17	pasamanería	derecha	-133,2	-130,6
		intermedio	-125,3	
		izquierda	-133,3	
18	pasamanería	derecha	-137,3	-124,0
		intermedio	-116,8	
		izquierda	-117,8	
19	pasamanería	derecha	-140,3	-130,5
		intermedio	-145,4	
		izquierda	-105,9	
20	pasamanería	derecha	-138,6	-133,6
		intermedio	-158,6	
		izquierda	-103,5	
21	pasamanería	derecha	-122,8	-124,0
		intermedio	-110,5	
		izquierda	-138,6	
22	pasamanería	derecha	-137,4	<b>-136,7</b>
		intermedio	-149,7	
		izquierda	-123,1	
23	pasamanería	derecha	-125,7	-121,2
		intermedio	-120,8	
		izquierda	-117,2	
24	pasamanería	derecha	-119	-118,8
		intermedio	-115,3	
		izquierda	-122,1	
25	pasamanería	derecha	-115	-114,3
		intermedio	-122,8	
		izquierda	-105,2	
26	pasamanería	derecha	-106,4	-106,8
		intermedio	-95,6	
		izquierda	-118,3	

27	pasamanería	derecha	-95,7	-103,8
		intermedio	-98,1	
		izquierda	-117,7	
28	pasamanería	derecha	-95,9	-107,3
		intermedio	-116,5	
		izquierda	-109,6	
29	pasamanería	derecha	-115	-117,9
		intermedio	-123,3	
		izquierda	-115,3	
30	pasamanería	derecha	-118	-111,2
		intermedio	-110,1	
		izquierda	-105,6	
31	pasamanería	derecha	-123,2	-127,0
		intermedio	-132,2	
		izquierda	-125,7	
32	pasamanería	derecha	-136,6	-130,4
		intermedio	-125,2	
		izquierda	-129,3	
33	pasamanería	derecha	-122,8	-118,3
		intermedio	-98,5	
		izquierda	-133,6	
34	pasamanería	derecha	-115,7	-122,7
		intermedio	-142,7	
		izquierda	-109,8	
35	pasamanería	derecha	-98	-119,6
		intermedio	-138,4	
		izquierda	-122,4	
36	pasamanería	derecha	-95	-107,9
		intermedio	-122,3	
		izquierda	-106,5	
37	pasamanería	derecha	-97	-103,3
		intermedio	-97,3	
		izquierda	-115,7	
38	pasamanería	derecha	-101,5	-128,8
		intermedio	-152,6	
		izquierda	-132,3	
39	pasamanería	derecha	-98	-124,3
		intermedio	-133,6	
		izquierda	-141,2	
	pasamanería	derecha	-105,1	-115,3
		intermedio	-111,7	
		izquierda	-129,1	
41	pasamanería	derecha	-122,3	-120,2
		intermedio	-129,7	
		izquierda	-108,7	



42	pasamanería	derecha	-138,6	-128,4
		intermedio	-139,47	
		izquierda	-107,1	
43	pasamanería	derecha	-140,6	-118,4
		intermedio	-98,8	
		izquierda	-115,8	
44	pasamanería	derecha	-116	-125,1
		intermedio	-133,5	
		izquierda	-125,7	
45	pasamanería	derecha	-122	-127,7
		intermedio	-127,5	
		izquierda	-133,7	
46	pasamanería	derecha	-133,8	-138,9
		intermedio	-141,6	
		izquierda	-141,2	
47	pasamanería	derecha	-127	-127,5
		intermedio	-128,3	
		izquierda	-127,2	
48	pasamanería	derecha	-128,9	-126,1
		intermedio	-145,9	
		izquierda	-103,6	
49	pasamanería	derecha	-125,7	-113,8
		intermedio	-110,1	
		izquierda	-105,6	
50	pasamanería	derecha	-101,6	-115,7
		intermedio	-138	
		izquierda	-107,6	
Promedio				-124

Al comparar las mediciones realizadas con la tabla 2.9 de ASTM C 876-91 se puede justificar que la corrosión es despreciable, es decir que puede existir un 10% de probabilidades de corrosión, al comparar con el criterio de Stratful (tabla 2.7) se puede decir que la condición de la varilla se encuentra en corrosión pasiva. Sumando las conclusiones anteriores de corrosión por carbonatación se puede argumentar que la losa en donde se realizaron los ensayos no necesita reparaciones por dichas causas.

#### 4.4.3. Ensayos de adherencia

La tabla 4.26 muestra el esfuerzo a tensión, así como el tipo de falla producido en la parte alta del azud, realizado con pastillas redondas de diámetro 5 cm

Tabla 4.26 Determinación de la resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia

N° de ensayo	Diámetro	Área	Carga de Tensión		Resistencia Obtenida		Tipo de falla
	Cm	cm <sup>2</sup>	kN	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	100%de hormigón
1	5	19,635	12,06	1229,76	62,63	6,14	100%de hormigón
2	5	19,635	14,13	1440,84	73,38	7,2	100%de hormigón
3	5	19,635	15,56	1586,65	80,81	7,92	100%de hormigón
4	5	19,635	11,62	1184,89	60,35	5,92	95%de hormigón 5 % de epóxico
5	5	19,635	12,42	1266,47	64,5	6,33	100%de hormigón
6	5	19,635	10,99	1120,65	57,07	5,6	100%de hormigón

**Promedio**      66,5      6,5

El valor medio del esfuerzo a tensión en 6,52 MPa, este valor es mayor a 1,4 MPa especificado por la norma ACI 440-2R. Se puede determinar entonces que el hormigón del azud es un hormigón sano. En el Anexo 4 se muestra el proceso realizado para obtener los resultados de esfuerzo a tensión.

#### 4.4.4. Grado de severidad

En la tabla 4.27 se muestra la severidad de las patologías encontradas en el Azud y pasamanería

Tabla 4.27 Análisis del grado de severidad

Elemento	Patología	%Área afectada	Nivel de severidad
Azud	Fisuras	0	Ninguno
	Oquedades	0	Ninguno
	Eflorescencia	0	Ninguno
	Corrosión	0	Ninguno
	Vegetación	0	Ninguno
	Delaminación	0	Ninguno
pasamanería	Fisuras	0	Ninguno
	Oquedades	0	Ninguno
	Eflorescencia	0	Ninguno
	Corrosión	5	Leve
	Vegetación	20	Leve
	Delaminación	0	Ninguno

La vegetación esta en las juntas de la losa como se puede ver en la imagen del Anexo 1.

#### 4.5. Análisis de resultados de Azud Escalera de Peces

Los resultados de los distintitos ensayos realizados en el Azud fueron obtenidos por la empresa HIDRODICON bajo la dirección de Ing. Oswaldo Torres Vázquez, realizado para la empresa ELECAUSTRO. Estos datos fueron brindados por el administrador del contrato Ing. Sebastián Montesdeoca Cabrera.

En la figura 4.13 se muestra la ubicación de los ensayos estructurales realizados en el azud.

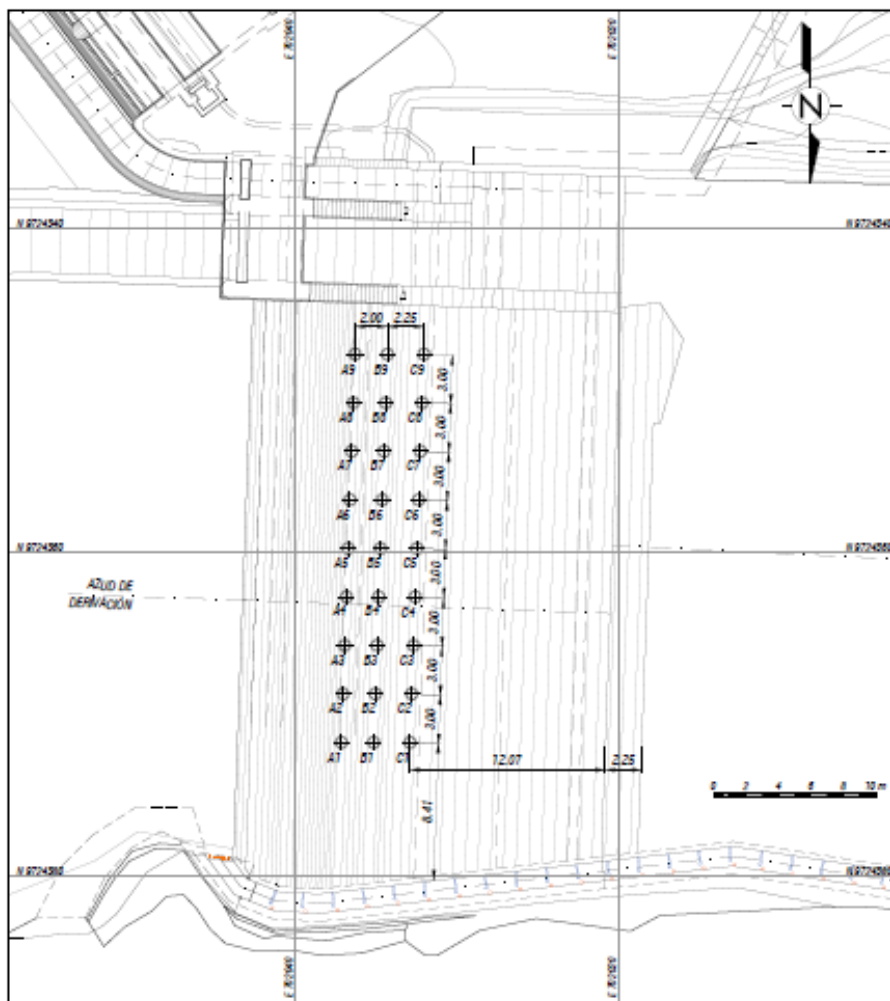


Figura 4.13 Ubicación de los ensayos estructurales.  
Fuente: HIDRODICON

#### 4.5.1. Profundidad de carbonatación y vida remanente

La tabla 4.28 muestra los resultados obtenidos de la perdida de Ph en el pie del azud y en el muro.

Tabla 4.28 Profundidad de carbonatación

N° de ensayo	Ubicación	Elemento	Carbonatación	Recubrimiento	
				Actual	Diseño
			Mm	mm	Mm
1	Escalera de Peces	Azud	0	65	70
2	Escalera de Peces	Azud	3	0	70
3	Escalera de Peces	Azud	2	0	70
4	Escalera de Peces	Muro	8,4	70	70

La carbonatación en los puntos 2 y 3 se hicieron en donde no existía recubrimiento debido a que estaba totalmente desprendido por la abrasión existente en el Azud

La figura 4.14 muestra la vida remanente obtenida para el azud a partir de los resultados obtenidos de la tabla 4.29 con la metodología propuesta por Tuutti K. Ec. 1 y Ec. 2.

Tabla 4.29 Vida remanente de la pasamanería

Profundidad	Año de construcción	Año de Evaluación	Tasa de avance de carbonatación	Recubrimiento	Tiempo	Vida Remanente
mm			mm/año <sup>1/2</sup>	mm	Años	Años
8,4	2012	2018	3,43	70	418	412

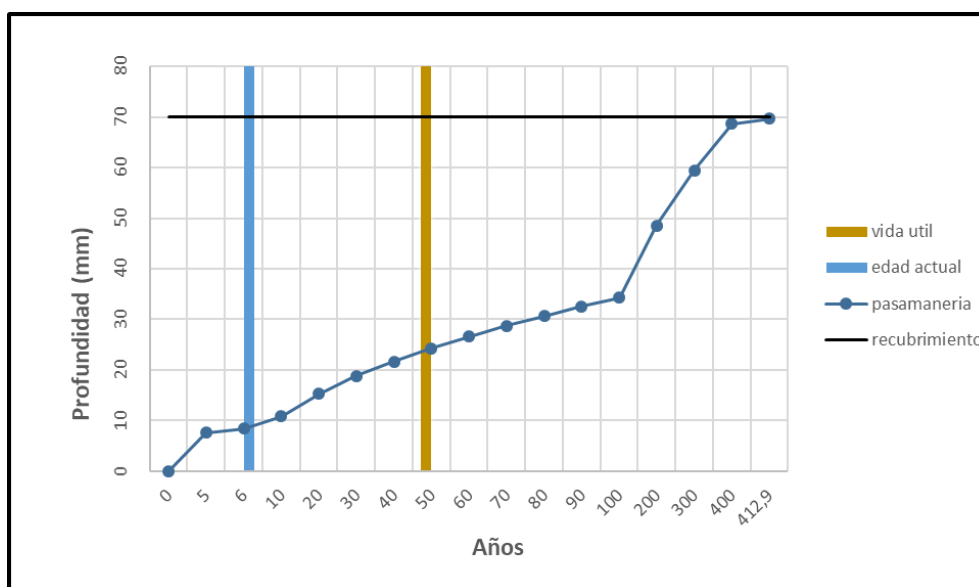


Figura 4.14 Vida remanente de la pasamanería.  
Fuente: Autor

Teóricamente la vida remanente de la pasamanería es grande debido a que la tasa de avance de carbonatación es despreciable, la estructura por carbonatación no sufrirá ningún daño. Mediante la tabla 2.3 se determina la calidad del hormigón en función de k como buena.

#### 4.5.2. Ensayos de adherencia

La tabla 4.30 muestra los resultados de los esfuerzos a tensión realizados en el pie del Azud con pastillas redondas.

Tabla 4.30 Determinación del esfuerzo a tracción mediante adherencia

N° de ensayo	Diámetro	Área	Carga de Tensión		Resistencia Obtenida	
	Cm	cm2	kN	Kg	Kg/cm2	MPa
A1	5	19,635	6,76	689,32	35,11	3,44
B1	5	19,635	6,01	612,84	31,21	3,06
C1	5	19,635	5,9	601,62	30,64	3,00
C2	5	19,635	6,84	697,47	35,52	3,48
B2	5	19,635	8,57	873,88	44,51	4,36
A2	5	19,635	6,2	632,21	32,20	3,16
C3	5	19,635	6,13	625,08	31,83	3,12
B3	5	19,635	6,68	681,16	34,69	3,40
A3	5	19,635	5,12	522,09	26,59	2,61
C4	5	19,635	5,63	574,09	29,24	2,87
B4	5	19,635	6,35	647,51	32,98	3,23
A4	5	19,635	6,1	622,02	31,68	3,11
C5	5	19,635	9,37	955,46	48,66	4,77
B5	5	19,635	5,44	554,72	28,25	2,77
A5	5	19,635	5,51	561,85	28,61	2,81
C6	5	19,635	6,03	614,88	31,32	3,07
B6	5	19,635	5,15	525,15	26,75	2,62
A6	5	19,635	5,25	535,34	27,26	2,67
C7	5	19,635	5,05	514,95	26,23	2,57
B7	5	19,635	5,2	530,24	27,01	2,65
A7	5	19,635	5,3	540,44	27,52	2,70
C8	5	19,635	7,33	747,44	38,07	3,73
B8	5	19,635	5,36	546,56	27,84	2,73
A8	5	19,635	5,61	572,05	29,13	2,86
C9	5	19,635	5,5	560,84	28,56	2,80
B9	5	19,635	7,07	720,93	36,72	3,60
A9	5	19,635	6,22	634,25	32,30	3,17
Promedio					32	3,1

El esfuerzo a tensión medio 3.1MPa supera el valor especificado en la norma ACI 440-2R, por lo tanto, el hormigón es un hormigón sano capaz de soportar posibles soluciones con epóxicos en el Anexo 4 se muestra el proceso de dicho ensayo



### 4.5.3. Ensayos de esclerometría

La tabla 4.31 muestra los resultados de la resistencia a compresión de la parte superior del pie del azud

Tabla 4.31 Determinación de la resistencia a la compresión mediante esclerometría

Pts	Lecturas												Max	Min	Pmd	Desv. Std	Posición	Equivalencia	Factor de corrección	Resistencia	Observaciones
																		Kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	
A1	52	36	44	40	58	54	38	56	40	49	52	52	58	36	48	8	A	555	0,5793	321,51	sector núcleo 5
B1	34	40	48	48	44	48	40	46	46	40	38	39	48	34	43	5	AB	488	0,5793	282,7	sector núcleo 5
C1	52	46	50	44	34	42	54	48	49	42	48	50	54	34	47	5	B	591	0,5793	342,37	sector núcleo 5
C2	36	50	34	31	40	42	39	39	50	56	54	43	56	31	43	8	B	509	0,5793	294,86	sector núcleo 1
B2	48	50	58	40	46	46	42	40	51	60	49	49	60	40	48	6	AB	580	0,5793	335,99	sector núcleo 1
A2	34	40	48	39	38	42	32	42	48	34	30	36	48	30	39	6	A	387	0,5793	224,19	sector núcleo 1
C3	41	41	46	34	38	39	32	44	44	42	48	46	48	32	41	5	B	488	0,5793	282,7	sector núcleo 2
B3	52	40	52	53	52	50	50	47	38	39	44	51	53	38	47	6	A	484	0,5793	280,38	sector núcleo 2
A3	60	48	48	53	44	38	38	52	32	49	46	45	60	32	46	8	A	458	0,5793	265,32	sector núcleo 2
C4	45	40	42	48	42	59	38	32	48	45	48	38	59	32	44	7	B	484	0,5793	280,38	sector núcleo 3
B4	48	44	48	54	49	58	42	42	36	38	36	56	58	36	46	8	AB	540	0,5793	312,82	sector núcleo 3
A4	38	42	43	44	42	44	40	42	46	38	46	48	48	38	43	3	A	458	0,5793	265,32	sector núcleo 3
C5	58	56	59	48	48	44	48	48	48	58	52	50	59	44	51	5	B	660	0,5793	382,34	sector núcleo 3
B5	44	43	50	54	52	48	46	36	52	40	40	40	54	36	45	6	AB	540	0,5793	312,82	sector núcleo 3
A5	42	41	39	44	42	38	39	50	50	50	38	34	50	34	42	5	A	448	0,5793	259,53	sector núcleo 3
C6	33	40	43	50	43	40	34	36	40	43	40	40	50	33	40	5	B	458	0,5793	265,32	sector núcleo 4
B6	34	40	32	36	40	40	40	34	40	42	39	30	42	30	37	4	AB	395	0,5793	228,82	sector núcleo 4

A6	40	42	40	39	36	34	40	40	40	42	42	43	43	34	40	3	A	408	0,5793	236,35	sector núcleo 4
C7	41	40	40	41	40	40	38	39	39	40	40	39	41	38	40	1	B	458	0,5793	265,32	
B7	41	40	40	39	38	37	44	36	34	42	34	42	44	34	39	3	AB	418	0,5793	242,15	
A7	37	40	30	44	34	36	39	41	41	41	39	40	44	30	39	4	A	387	0,5793	224,19	
C8	41	42	39	40	39	34	36	37	37	40	41	40	42	34	39	2	B	438	0,5793	253,73	
B8	34	38	38	39	42	39	39	39	38	41	39	36	42	34	39	2	AB	412	0,5793	238,67	
A8	40	34	48	39	43	39	43	44	41	41	44	41	48	34	41	3	A	448	0,5793	259,53	
C9	36	34	36	39	36	34	35	32	33	34	35	35	39	32	35	2	B	367	0,5793	212,6	
B9	33	38	32	40	39	40	38	42	32	40	34	37	42	32	37	3	AB	377	0,5793	218,4	
A9	39	40	35	41	40	40	42	44	42	36	40	40	44	35	40	2	A	408	0,5793	236,35	
																	Promedio	468		271	

El factor de corrección es un valor que se obtiene de la división de la resistencia a compresión por la extracción de un núcleo para el valor medio que se obtuvo de la esclerometría realizada alrededor del núcleo. El factor de corrección que se encuentra para ese caso se aplica a los demás resultados de esclerometría y se obtiene un valor de la resistencia a compresión corregida, el valor esclerometrico corregido de resistencia a la compresión es de 271kg/cm<sup>2</sup>. Las imágenes del proceso se muestran en el Anexo 5.

#### 4.5.4. Ensayo de núcleos perforados

La tabla 4.32 muestra los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de cada testigo extraídos de la parte superior e inferior del pie del azud.

Tabla 4.32 Ensayo a compresión de núcleos de concreto

NUCLEO	PESO	ALTURA	DIAMETRO	AREA	P. VOL	CARGA ROTURA	RELACION	CORRECCION	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA
#	Gr	cm	cm	cm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kN	L/D	ASTM C 39	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1 <sup>a</sup>	902,5	10	6,96	38,05	2372,13	78,9	1,44	0,95	211,47	200,89
1B	790,6	8,74	6,98	38,26	2363,98	89,3	1,25	0,93	237,97	221,31
2 <sup>a</sup>	888,7	10,1	6,95	37,94	2319,39	106	1,45	0,95	284,92	270,67
2B	829,6	9,33	6,96	38,05	2337,11	86,85	1,34	0,94	232,77	218,81
3 <sup>a</sup>	954	10,93	6,98	38,26	2281,01	101	1,57	0,97	269,15	261,07
3B	951,5	10,72	6,95	37,94	2339,67	96,04	1,54	0,96	258,15	247,82
4 <sup>a</sup>	1019,1	11,24	6,93	37,72	2403,78	71,9	1,62	0,97	194,38	188,55
4B	801,4	9,27	6,91	37,5	2305,28	54,5	1,34	0,94	148,19	139,3
5 <sup>a</sup>	957,1	10,65	6,95	37,94	2368,91	76,5	1,53	0,96	205,62	197,4
6 <sup>a</sup>	1211,2	13,58	6,95	37,94	2351,02	55,82	1,95	1	150,04	150,04
6B	1275,6	13,9	6,97	38,16	2405,16	83,6	1,99	1	223,42	223,42
7 <sup>a</sup>	1124,5	12,7	6,97	38,16	2320,6	69,7	1,82	1	186,27	186,27
7B	1029,6	11,57	6,96	38,05	2338,98	83,6	1,66	0,97	224,06	217,34

La resistencia a la compresión promedio de los testigos en la parte superior es de 271kg/cm<sup>2</sup>, y en la parte inferior es de 225kg/cm<sup>2</sup>. En el Anexo 6 se muestra gráficamente los lugares específicos de donde se tomaron las muestras.

#### 4.5.5. Grado de severidad

En la tabla 4.33 se muestra el grado de severidad que alcanza cada patología encontrada en el pie del azud y el muro

Tabla 4.33 Análisis del grado de severidad

Elemento	Patología	%Área afectada	Nivel de severidad
pie del Azud	Fisuras	50	Leve
	Oquedades	70	moderado
	Eflorescencia	0	ninguno
	Desprendimiento	90	Severo
	Vegetación	0	ninguno
Muros	Descascaramiento	90	Severo
	Fisuras	0	ninguno
	Oquedades	0	ninguno
	Eflorescencia	10	Leve
	Vegetación	20	Leve

El pie del azud se encuentra expuesto, desprotegido, los recubrimientos se han desprendido en su totalidad o son inadecuados.

## CAPÍTULO 5.

### MATRICES DE SOLUCION

#### 5. MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCIÓN

Como resumen se plantea las matrices de solución e intervención propuestas cuyas acciones se resumen en:

1. *Acciones Emergentes*: Estas deben cumplirse de manera inmediata, a fin de evitar que los daños estructurales identificados se intensifiquen conllevando a soluciones posteriores más costosas
2. *Acciones Inmediatas*: Estas son acciones complementarias, se requieren a fin de proveer integridad estructural mediante el reforzamiento que sustente el uso previsto para esta estructura.
3. *Acciones a Mediano Plazo*: Garantizarán la funcionalidad de la estructura.

##### 5.1. Matrices de solución e intervención de Presa El Labrado

Tabla 5.1 Acciones emergentes

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCIÓN			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Cara superior del azud y pasamanería	Para la aplicación de cualquier producto de reparación y/o reforzamiento, se deberá realizar una limpieza integral de los elementos, es decir remover toda la vegetación. Para reparaciones de la pasamanería, remover todos los elementos hasta llegar al hormigón.	Preparación de superficies	Se debe escarificar los elementos en mal estado, hasta llegar al acero de refuerzo, mediante la remoción mecánica del recubrimiento.
		Oquedades	Para la reparación de desprendimientos usar mortero de reparación estructural con inhibidor de corrosión que cumpla la norma ASTM C 1202.



Tabla 5.2 Acciones Inmediatas

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Cara superior del azud y pasamanería	Preparación de superficie para tapar las filtraciones de agua producidas en la cara del azud	Reforzamiento Estructural	Recubrimiento de todas las fisuras expuestas con un mortero de base epoxi de dos componentes para reparación y pegado que cumpla con la norma ASTM D695. (Pereira y Helene, 2007).
		Reparaciones superficiales	Cubrir las zonas de reparaciones puntuales con mortero de base epoxi y para reparaciones en grandes áreas usar mortero de base cemento modificado con polímeros. (Pereira y Helene, 2007).
		Moho	Ocasiona reducción del Ph y corrosión del acero de refuerzo por lo tanto se recomienda una limpieza. (Helene y colaboradores, 2007).
		Eflorescencia	Eliminar las filtraciones. (Helene y colaboradores, 2007).

Tabla 5.3 Acciones a mediano plazo

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCIÓN		
Elementos a intervenir	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Cara superior del azud y pasamanería	Mantenimiento Preventivo	Correcta preparación de la fisura como por ejemplo limpieza y secado, para un correcto sellado. (Pereira y Helene, 2007).
	Corrosión activa	Se debe limpiar el óxido de los tubos de la pasamanería con un limpiador y pasivador de metales y colocar pintura que le proteja de los efectos adversos del medio ambiente como por ejemplo un recubrimiento no tóxico, de dos componentes, con base en resinas epóxicas y endurecedor poliamida que cumpla con la norma ASTM D1475.

## 5.2 Matrices de solución e intervención de Canal de Conducción

Tabla 5.4 Acciones emergentes

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Canal desde El Labrado-Reservorio de Tuñi	Para la aplicación de cualquier producto de reparación y/o reforzamiento, se deberá realizar una limpieza integral de los elementos, es decir remover toda la vegetación.	Reforzamiento Estructural	Recubrimiento de las pocas fisuras encontradas con un adhesivo epóxico para pega de elementos estructurales que cumpla con la norma ASTM C 881-90.
		Oquedades, reparación hormigón	Para la reparación de oquedades o desprendimientos usar mortero de reparación estructural con inhibidor de corrosión que cumpla con la norma ASTM C 1202.

Tabla 5.5 Acciones inmediatas

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Canal desde El Labrado-Reservorio de Tuñi	Preparación de superficie para mejoramiento estructural	Reforzamiento Estructural	Como el canal es extenso, en caso de que ocurra algún suceso imprevisto se recomienda usar un tejido de fibra de carbono diseñada para refuerzo estructural para mejorar la calidad del hormigón y reforzar la estructura que cumpla la norma ISO 10618.

Tabla 5.6 Acciones a mediano plazo

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION		
Elementos a intervenir	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Canal desde El Labrado-Reservorio de Tuñi	Mantenimiento Preventivo	Limpieza constante de piedras, vegetación y tierra en las quebradas existentes en el canal. Control continuo de deslaves. Mejoramiento vial ya que el agua que se empoza en la vía salpica desechos al canal.

### 5.3 Matrices de solución e intervención de Reservorio de Tuñi

Tabla 5.7 Acciones inmediatas

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Reservorio y parte baja de pasamanería	Preparación de superficie para tapar las filtraciones de agua producidas en gran parte del reservorio y quitar los elementos en mal estado	Reforzamiento Estructural	Recubrimiento de todas las fisuras expuestas con un mortero adhesivo epoxi de dos componentes para reparación y pegado que cumpla con la norma ASTM C 881-90. (Pereira y Helene, 2007). En la parte baja de la pasamanería se recomienda usar un tejido de fibra de carbono diseñada para refuerzo estructural que cumpla la norma ISO 10618, ya que el hormigón es de muy baja calidad. (Helene y colaboradores, 2007).

Tabla 5.8 Acciones emergentes

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Reservorio y parte baja de pasamanería	Para la aplicación de cualquier producto de reparación y/o reforzamiento, se deberá realizar una limpieza integral de los elementos, es decir remover toda la vegetación y el recubrimiento que ya no sirve. Para reparaciones de la parte baja de la pasamanería, remover todos los elementos hasta llegar al hormigón.	Preparación de superficies	Se debe escarificar los elementos en mal estado, hasta llegar al acero de refuerzo, o malla en el caso del reservorio, mediante la remoción mecánica del recubrimiento.
		Corrosión activa	Se debe limpiar el óxido con un limpiador y pasivador de metales y cubrirlo con un mortero adhesivo epoxi de dos componentes para reparación y pegado que cumpla con la norma ASTM C 881-90. (Pereira y Helene, 2007).
		Oquedades	Para la reparación de oquedades desprendimientos usar un mortero de reparación estructural con inhibidor de corrosión que cumpla con la norma ASTM C 1202.
		Reparaciones superficiales	Cubrir las zonas de reparaciones puntuales con mortero de base epoxi y para reparaciones en grandes áreas usar mortero de base cemento modificado con polímeros. (Pereira y Helene, 2007).



Tabla 5.9 Acciones a mediano plazo

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION		
Elementos a intervenir	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Reservorio y parte baja de pasamanería	Mantenimiento Preventivo	Reponer con mortero epóxico las zonas desgastadas en la parte baja de la pasamanería. Revisión de la correcta limpieza del acero corroído. Correcta preparación de la fisura como por ejemplo limpieza y secado, para un correcto sellado. (Pereira y Helene, 2007).

#### 5.4 Matrices de solución e intervención de Presa Chanlud

Tabla 5.10 Acciones emergentes

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Pasamanería	Para la aplicación de cualquier producto de reparación y/o reforzamiento, se deberá realizar una limpieza integral de los elementos, es decir remover toda la vegetación.	Preparación de superficies	Se debe escarificar los elementos en mal estado, hasta llegar al acero de refuerzo, mediante la remoción mecánica del recubrimiento.
		Corrosión activa	Limpieza Mecánica, dejando el metal en blanco. Aplicación de un recubrimiento anticorrosivo para proteger el acero de refuerzo.

Tabla 5.11 Acciones inmediata

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Pasamanería	Preparación de superficie para corregir la falta de recubrimiento	Falta de Recubrimiento	Capa de recuperación con mortero de base epóxi. (Pereira y Helene, 2007).
		Moho	Ocasiona reducción del Ph y corrosión del acero de refuerzo por lo tanto se recomienda una limpieza. (Helene y colaboradores, 2007).

Tabla 5.12 Acciones a mediano plazo

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION		
Elementos a intervenir	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Pasamanería	Mantenimiento Preventivo	Revisión de la correcta limpieza del acero corroído. Limpieza de moho antes de que se produzca la corrosión. (Helene y colaboradores, 2007).

## 5.5 Matrices de solución e intervención de Azud Escalera de Peces

Tabla 5.13 Acciones emergentes

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Cara superior del azud y muros laterales	Para la aplicación de cualquier producto de reparación y/o reforzamiento, se deberá realizar una limpieza integral de los elementos, es decir remover todos los elementos o en proceso de laminación hasta llegar al hormigón. Especialmente para reparaciones de tipo estructural, hasta conseguir perfiles de anclaje adecuados para los tratamientos de reparación.	Preparación de superficies	Se debe escarificar los elementos en mal estado, hasta llegar al acero de refuerzo, mediante la remoción mecánica del recubrimiento en zonas del acero expuesto.
		Corrosión activa	Limpieza Mecánica, dejando el metal en blanco. Aplicación de un recubrimiento anticorrosivo para proteger el acero de refuerzo.
		Falta de Recubrimiento	Cubrir las zonas de reparaciones puntuales con mortero de base epoxi y para reparaciones en grandes áreas usar mortero de base cemento modificado con polímeros. (Pereira y Helene, 2007).
		Oquedades	Imprimir con adhesivo epóxico de hormigón fresco a endurecido y rellenar con un mortero grouts de base de cemento que cumpla con la norma ASTM C 230. (Pereira y Helene, 2007).

Tabla 5.14 Acciones inmediatas

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION			
Elementos a intervenir	Limpieza Inicial y Preparación del Sustrato	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Cara superior del azud y muros laterales	Preparación de superficie para lograr perfiles de anclaje adecuados	Reforzamiento Estructural	Usar un tejido de fibra de carbono diseñada para refuerzo estructural para compensación del acero perdido que cumpla con la norma ISO 10618. (Helene y colaboradores, 2007).
		Erosión	Recubrimiento de todas las caras expuestas con un mortero de base epoxi de dos componentes para reparación y pegado que cumpla con la norma ASTM D695. (Pereira y Helene, 2007).

Tabla 5.15 Acciones a mediano plazo

MATRICES DE SOLUCION E INTERVENCION		
Elementos a intervenir	Patología Particular	Tratamiento Recomendado
Cara superior del azud y muros laterales	Valoración de recubrimiento a la erosión	Medir el espesor del recubrimiento epóxico mediante indicadores.
	Mantenimiento Preventivo	Reponer con mortero epóxico en las zonas desgastadas. (Pereira y Helene, 2007). Cubrir con pintura de alto espesor de base epóxica. (Helene y colaboradores, 2007).

## CAPÍTULO 6.

## CONCLUSIONES

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Presa El Labrado

- a) Durabilidad de la estructura
  - La carbonatación alcanza el 6% de los 20mm del recubrimiento en la pasamanería, por lo que la carbonatación no es relevante ni produce ningún daño.
  - La constante  $k$  para medir la vida remanente es de  $0.18\text{mm/año}^{1/2}$ , es decir no es trascendental, por lo cual la vida útil por carbonatación es mayor a la esperada para el proyecto.
  - En función a la constante  $k$  de carbonatación, según la tabla 2.3, la calidad del hormigón es buena.
- b) Resistencia a tracción del hormigón: obtenida a través del ensayo de adherencia
  - Ensayo de adherencia
    - Los resultados realizados en el mortero de unión del enrocado del azud indican que es un hormigón pobre, en consecuencia, se producen las fisuras y oquedades en las uniones.
    - La resistencia promedio es de  $0.47\text{Mpa}$  ( $4.8\text{ Kg/cm}^2$ ), este valor corresponde a una resistencia a la compresión  $f'_c$  aproximada de  $48\text{kg/cm}^2$
- c) Acero
  - El resultado promedio de la corrosión electroquímica realizado en la pasamanería es de  $-68.8\text{ mV}$ .
  - Según la norma ASTM C 876-91, para el resultado obtenido la probabilidad de corrosión es de un 10% que se presente.
- d) Otros
  - Los resultados de termografía infrarroja indican la presencia generalizada de fisuras y de material vegetal en el azud.

La mala calidad del hormigón que se utilizó para unir los bloques enrocados, es la principal causa de fisuraciones e infiltraciones.

La patología principal es la infiltración, en consecuencia, existe eflorescencia generalizada en el azud causada principalmente por la disolución del carbonato de calcio con la humedad que sale del hormigón, hacia la superficie en forma de sales color blanco azulado o gris-blanco. El área afectada por la eflorescencia es de un 70% de manera que la severidad es moderada. Como medida de solución para este problema se recomienda una limpieza profunda para



luego continuar con trabajos de reparación de oquedades y fisuras utilizando mortero epóxico de reparación estructural adecuado para este tipo de patologías.

El desprendimiento del hormigón y la corrosión de las barras de la pasamanería se da principalmente por la vegetación existente y por los agentes climáticos ya que la infraestructura se encuentra en un clima frío y húmedo, con súbitos cambios en el estado atmosférico.

### Canal de Conducción

- a) Durabilidad de la estructura
  - La carbonatación máxima alcanza el 1.48% de los 50 mm del recubrimiento, debido a lo cual no es relevante o motivo de alerta.
  - La constante  $k$  para medir la vida remanente es de  $0.19\text{mm/año}^{1/2}$ , es decir no es trascendental, por lo cual la vida útil por carbonatación es mayor a la esperada para el proyecto.
  - En función a esta constante  $k$ , según la tabla 2.3, la calidad del hormigón es buena
- b) Resistencia del hormigón: obtenida a través de los ensayos de esclerometría y adherencia.
  - Ensayo de esclerometría
    - El promedio de la resistencia a la compresión  $f'_c$  es de  $130\text{ kg/cm}^2$
  - Ensayo de adherencia
    - El resultado promedio de la resistencia a tracción es de  $3.5\text{ MPa}$  ( $36\text{ kg/cm}^2$ ) este valor corresponde a una resistencia a la compresión  $f'_c$  aproximada de  $350\text{ kg/cm}^2$ 
      - El ensayo de adherencia mostró un valor de resistencia a tracción mayor que el especificado por la norma ACI 440-2R ( $1.4\text{ MPa}$ ).
  - Ensayo de ultrasonido
    - Los resultados de los ensayos realizados en los distintos tramos del canal dan valores de velocidades entre  $2024\text{m/s}$  a  $3334\text{m/s}$

El análisis de los ensayos de esclerometría y ultrasonido realizados en el Canal de Conducción demostró que la calidad del hormigón no cuenta con la resistencia a la compresión  $f'_c$ , adecuada y que comparada con las tablas 2.4, 2.5 y 2.6 de condiciones del hormigón mediante ensayos de ultrasonido resultó un hormigón pobre.

Existe vegetación y piedras en las rejillas de control producto de los deslaves, por lo que se recomienda mantenimiento y limpieza constante para garantizar la funcionalidad de la estructura.

Tomando en cuenta que los resultados del ensayo de adherencia cumplen con el especificado por la norma ACI 440-2R, se recomienda el uso de un tejido de fibra de carbono para incrementar la carga de flexión y corte, así como la vida de servicio y durabilidad con el fin de mejorar la condición estructural para cumplir las normas vigentes.

## Reservorio de Tuñi

- a) Durabilidad de la estructura en el reservorio
  - La carbonatación máxima en el reservorio alcanza un 11.8% de los 20mm del espesor del recubrimiento, al momento no genera daños.
  - La constante  $k$  para medir la vida remanente es de  $0.38\text{mm/año}^{1/2}$ , es decir no es trascendental, por lo cual la vida útil por carbonatación es mayor a la esperada para el proyecto.
  - En función a esta constante  $k$  y según la tabla 2.3, la calidad del hormigón es buena.
- b) Resistencia del hormigón en el reservorio: obtenida a través de los ensayos de esclerometría y adherencia.
  - Ensayo de esclerometría
    - El resultado promedio de la resistencia a la compresión  $f'c$  en el piso del reservorio es de  $295\text{kg/cm}^2$ .
  - Ensayo de adherencia
    - El resultado promedio de la resistencia a tracción en el piso es de  $5.3\text{ MPa}$  ( $54\text{kg/cm}^2$ ), este corresponde a una resistencia a la compresión  $f'c$  aproximada de  $530\text{ kg/cm}^2$
  - Ensayo de ultrasonido
    - El resultado promedio de la velocidad ultrasónica es de  $2034\text{m/s}$
- c) Acero
  - El resultado promedio de la corrosión electroquímica es de  $-426\text{mV}$ .
- e) Otros
  - Lo resultados de la termografía infrarroja indica fisuras en el reservorio potencialmente activas.
- d) Durabilidad de la estructura en la parte baja de la pasamanería
  - La carbonatación máxima en la parte baja de la pasamanería alcanza un 6.46% de los 50mm del espesor del recubrimiento, al momento no genera daños.
  - La constante  $k$  para medir la vida remanente es de  $0.52\text{mm/año}^{1/2}$ , es decir no es trascendental, por lo cual la vida útil por carbonatación es mayor a la esperada para el proyecto.
  - En función a esta constante  $k$  y según la tabla 2.3, la calidad del hormigón es buena.
- e) Resistencia del hormigón en la parte baja de la pasamanería: obtenida a través de los ensayos de esclerometría, adherencia y extracción de núcleos.
  - Ensayo de núcleos perforados
    - El resultado promedio de la resistencia a la compresión  $f'c$  mediante la perforación de núcleos en el piso es de  $111\text{ kg/cm}^2$

- El resultado promedio de la resistencia a la compresión  $f'_c$  mediante la perforación de núcleos en el muro es de  $44 \text{ kg/cm}^2$
- Ensayo de esclerometría
  - La resistencia corregida promedio en función del valor obtenido de la resistencia a la compresión de núcleos en el piso es de  $111 \text{ kg/cm}^2$
  - La resistencia corregida promedio en función del valor obtenido de la resistencia a la compresión de núcleos en el muro es de  $47 \text{ kg/cm}^2$
- Ensayo de adherencia
  - El resultado promedio de la resistencia a tracción en el piso es de  $3.6 \text{ MPa}$  ( $37 \text{ kg/cm}^2$ ), este valor corresponde a una resistencia a la compresión  $f'_c$  aproximada de  $370 \text{ kg/cm}^2$
  - El resultado promedio de la resistencia a tracción en el muro es de  $2.8 \text{ MPa}$  ( $24 \text{ kg/cm}^2$ ), este valor corresponde a una resistencia a la compresión  $f'_c$  aproximada de  $230 \text{ kg/cm}^2$
  - El ensayo de adherencia mostro un valor de resistencia a tracción mayor que el especificado por la norma ACI 440-2R( $1.4 \text{ MPa}$ ) suficiente para realizar alguna reparación.

La principal patología en el piso del reservorio encontrada es la corrosión, ya que por el análisis del ensayo de potencial de corrosión se determinó un resultado del 90% de probabilidad que se presente según el código ASTM C 876-91, con la tabla 2.8 se identificó el avance de corrosión en la malla de acero como activa, por consiguiente, la severidad de esta patología es grave.

Con el resultado promedio obtenido mediante los ensayos de ultrasonido para el piso del reservorio y comparados con las tablas 2.4, 2.5 y 2.6 resulto ser un hormigón pobre; por esta razón se encuentra gran parte del canal fisurado. De acuerdo al ensayo de adherencia el sustrato es adecuado para recibir reparaciones por lo tanto se recomienda la remoción mecánica del recubrimiento dañado, colocar pintura epóxica y una capa de mortero estructural.

En la parte baja de la pasamanería del Reservorio de Tuñi los resultados de la resistencia a la compresión  $f'_c$ , dados por los ensayos de esclerometría y extracción de núcleos indican que no se trata de un hormigón estructural, en consecuencia, existente desprendimiento, eflorescencia, fisuración, corrosión, y materia vegetal.

Por los resultados dentro de la norma ACI 440-2R de resistencia a tracción mediante ensayos de adherencia se puede proponer refuerzos futuros como fibra de carbono diseñada para el refuerzo de estructuras, además de una limpieza mecánica de los aceros para luego colocar un recubrimiento anticorrosivo para proteger el mismo.

### **Presa de Chanlud**

- a) Durabilidad de la estructura
  - La carbonatación alcanza el 6.8% de los 20mm del recubrimiento en la pasamanería, por lo que la carbonatación no es relevante ni produce ningún daño.

- La constante  $k$  para medir la vida remanente es de  $0.25\text{mm/año}^{1/2}$ , es decir no es trascendental, por lo cual la vida útil por carbonatación es mayor a la esperada para el proyecto.
  - En función de la constante  $k$ , y comparando con la tabla 2.3 la calidad del hormigón es buena.
- b) Resistencia del hormigón: obtenida a través de los ensayos de esclerometría, adherencia y extracción de núcleos.
- Ensayos de adherencias
    - La resistencia promedio es de  $6.52\text{Mpa}$  ( $66.46\text{ Kg/cm}^2$ ), este valor corresponde a una resistencia a la compresión  $f'c$  aproximada de  $660\text{kg/cm}^2$
    - Los resultados realizados indican que el hormigón es un hormigón estructural de alta resistencia.
- c) Acero
- El resultado promedio de la corrosión electroquímica es de  $-124\text{mV}$ .
  - Según la norma ASTM C 876-91, para el resultado obtenido la probabilidad de corrosión es de un 10% que se presente.

La presa de Chanlud se encuentra en buenas condiciones estructuralmente, en el azud no se visualizaron patologías como fisuras, oquedades, desprendimiento, delaminaciones o corrosión, si se vio una mínima cantidad de material vegetal en el paramento aguas arriba.

En la pasamanería se realizaron análisis de profundidad de carbonatación y de potencial de corrosión que proporcionaron datos despreciables, es decir que al momento no generan daños. Con un análisis visual se determinó la falta de recubrimiento en los aceros quedando expuestos a una corrosión, por lo que se recomienda una limpieza mecánica para luego colocar un recubrimiento anticorrosivo como un mortero estructural.

### Azud Escalera de Peces

- a) Durabilidad de la estructura
- La carbonatación alcanza el 12% del espesor del recubrimiento en el muro, por lo que la carbonatación no es relevante ni produce ningún daño.
  - La constante  $k$  para medir la vida remanente es de  $3.43\text{ mm/año}^{1/2}$ , la vida útil por carbonatación es mayor a la esperada para el proyecto.
  - En función de la constante  $k$ , y comparada con la tabla 2.3, la calidad del hormigón es buena.
  - La carbonatación en el pie del azud es mínima, sin embargo, la abrasión es la patología que está afectando la vida útil de la estructura.
- b) Resistencia del hormigón: obtenida a través de los ensayos de esclerometría, adherencia y extracción de núcleos.
- Ensayo de núcleos perforados
    - El resultado promedio de la resistencia a la compresión  $f'c$  mediante la perforación de núcleos en el estrato superior es de  $271\text{ kg/cm}^2$
    - El resultado promedio de la resistencia a la compresión  $f'c$  mediante la perforación de núcleos en el estrato inferior es de  $225\text{ kg/cm}^2$

- Ensayo de esclerometría
  - La resistencia corregida promedio en función del valor obtenido de la resistencia a la compresión de núcleos en el piso del azud es de  $271.30 \text{ kg/cm}^2$
- Ensayo de adherencia
  - El resultado promedio de la resistencia a tracción es de  $3.13 \text{ MPa}$  ( $31 \text{ kg/cm}^2$ ) en el piso del reservorio, este valor indirectamente nos da una resistencia a la compresión  $f'_c$  de  $310 \text{ kg/cm}^2$
  - El ensayo de adherencia mostro un valor de resistencia a compresión mayor que el especificado por la norma ACI 440-2R suficiente para realizar algun reforzamiento.

c) Acero

- Se ha determinado una pérdida de acero superior, mismo que debe ser remplazado para cumplir con las resistencias de diseño.

En el azud Escalera de Peces la armadura exterior del azud en general se encuentra expuesta, desprotegida, y con recubrimientos inadecuados o perdidos totalmente.

Con los resultados obtenidos en el ensayo de adherencia mayores al especificado en la norma ACI 440-2R se recomienda realizar un refuerzo adicional para reforzar la estructura.

La infraestructura más crítica a ser intervenida es el Azud Escalera de Peces ya que como consecuencia del sedimento depositado aguas arriba del paramento del azud, se incrementa la capacidad de descarga y la velocidad sobre el azud, incrementándose la acción abrasiva sobre el mismo.

Para realizar cada ensayo es necesario una correcta logística de campo, se recomienda hacer una planificación y un listado de los materiales que se vayan a ocupar cada día. Además, se recomienda estar al tanto del clima del sector para tener una adecuada vestimenta.

En este trabajo de titulación se adquirió el conocimiento suficiente de los equipos que se necesitan para realizar los ensayos semi destructivos y no destructivos, así como de los materiales que sirven para el correcto funcionamiento de los equipos.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Broto, C., (2006). *Tratado Broto de la construcción: Patologías de los elementos constructivos*, Barcelona, España: Structure.
2. Porco, G., Valer Montero, G., y Romano, D. (2013). Las técnicas de ensayos no destructivos para el control de materiales y de estructuras de ingeniería civil. Recuperado de [http://www.sismlab.com/doc/IXCORENDE\\_Trabajo\\_Porco\\_Romano\\_Valer\\_Montero.pdf](http://www.sismlab.com/doc/IXCORENDE_Trabajo_Porco_Romano_Valer_Montero.pdf)
3. Antenas y Torres (1997). Levantamiento Estructural. Recuperado de <http://www.antenasytorres.com.co/portfolio/levantamiento-estructural/>
4. Diana Hernández (2013). *Reestructuración del centro comercial "Flores Mangón"* (Trabajo de Graduación). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
5. Dueñas, F., y García C. (2015). *Evaluación Estructural y diagnóstico de la condición edificio del cuerpo de bomberos del cantón Jama provincia de Manabí* (Trabajo de Graduación). Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.
6. ASTM Designación: C42/ C42M-16 "*Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*". 2016
7. El concreto en la obra (2009). México, recuperado de: <http://www.imcyc.com/ct2009/abr09/PROBLEMAS.pdf>
8. Eduardo E. Fernández de Castro Suárez (2012). *Propuestas Metodológicas para la caracterización de testigos de presas con problemas expansivos* (Tesis de Master). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
9. Oscar Quinto Mayén (2010). *Efecto del refuerzo horizontal en el ensayo de resistencia a compresión de núcleos de concreto de diámetro de 2 pulgadas, acero de 1/4 y 1/2 pulgadas con tamaño máximo de agregado de 3/8 de pulgada* (Trabajo de Graduación). Universidad de San Carlos, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
10. Vidaud, E., y Vidaud, I. (2014). Prueba de "Pull Off" para evaluar la adherencia de los materiales de reparación en concreto. *Construcción y Tecnología en concreto*, 22-26
11. Carlos San Juan Fernández (2014). Carbonatación a fondo. Ensayo y determinación. *Patología Rehabilitación Construcción*.
12. Raúl Monroy (2007). *Patologías en estructuras de hormigón armado aplicado a marquesina del parque Saval* (Trabajo de Graduación). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
13. ASTM Designación: D4541 – 17 "*Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*". 2017
14. ASTM Designación D7234 – 12 "*Standard Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers*". 2012
15. Comercial de ingeniería DAGA (1996). Pull-o tester. Recuperado de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:cStDY6lIDlwJ:https://www.dagasl.es/PPYTDYNACORTO.pps+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
16. Germann Instruments (1980). Pull-out Sistema de extracción. Recuperado de <http://www.germann.org/Publications/Spanish%20catalogs/LOK,%20CAPO%200&%20BOND%20%20-%20Spanish.pdf>

17. ACI Committee 228, “*In-Place Methods to Estimate Concrete Strength (ACI 228.1R-95)*” American Concrete Institute, 1995.
18. ACI Committee 228, “*Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures, (ACI.2R-98)*” American Concrete Institute, 1998.
19. ASTM Designación: C 805 “*Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*”.
20. ASTM Designación: C 597 “*Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*”. 2002.
21. ASTM Designación: C 876-91 “*Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*”. (Reaprovada 1999).
22. Solís, R., Moreno, E., y Castillo, W. (2004). Predicción de la Resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de la calidad de los agregados, *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 42.
23. Vicente Pellicer (2014). *Ensayos no destructivos en hormigón. Georradar y ultrasonidos* (Trabajo de Graduación). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
24. Vico, A., Morris, W., y Vazquez, M. (2011). Evaluación del avance de la corrosión de refuerzos en estructuras de hormigón. Recuperado de [https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/tecnologia\\_hormigon/coreMARCELA.pdf](https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/tecnologia_hormigon/coreMARCELA.pdf)
25. Pereira, F., y Helene P. (2007). *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*, Sao Pablo, Brazil.
26. Helene, P., y colaboradores (2007). *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*, Sao Pablo, Brasil.

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1. Levantamiento Estructural en las distintas infraestructuras.



Eflorescencia, Labrado



Eflorescencia, Labrado



Eflorescencia, Labrado



Eflorescencia y vegetación, Labrado



Eflorescencia, Labrado



Eflorescencia y vegetación, Labrado





Eflorescencia, Labrado



Oquedades, Labrado



Desgaste de mortero, Labrado



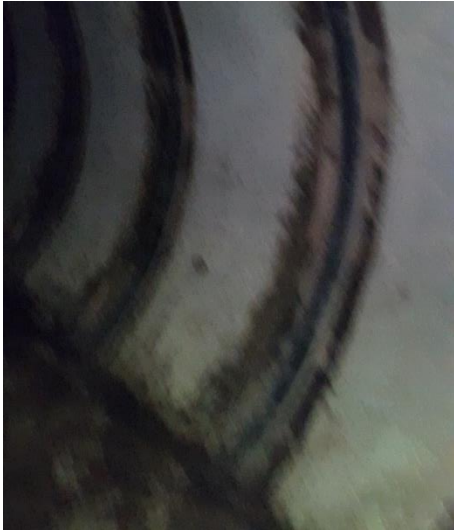
Filtraciones, Labrado



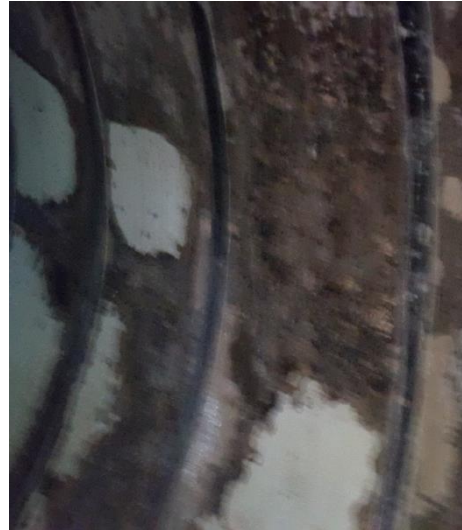
Fisuras, dentro del Canal



Fisuras, dentro del Canal



Colocación fibra de carbono, Canal



Colocación fibra de carbono, Canal



Colocación fibra de carbono, Canal



Colocación de epóxico, Canal



Colocación de epóxico, Canal



Colocación de epóxico, Canal





Anclaje con varilla de acero, Canal



Vegetación, Reservorio



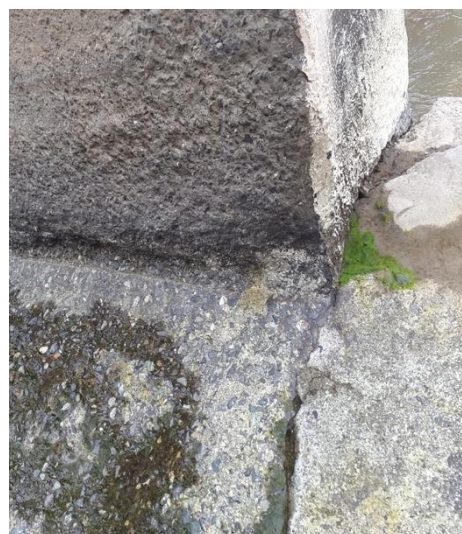
Vegetación. Reservorio



Vegetación. Reservorio



Vegetación, Azud E. De Peces



Desgaste por abrasión, Azud E.





Vegetación, Chanlud



Vegetación, Chanlud



Corrosión activa, Chanlud



Vegetación en Chanlud



## ANEXO 2. Ensayo de Profundidad de Carbonatación en las distintas infraestructuras.



Resultado en pasam. Reservoirio



Resultado en pasam. Reservoirio



Resultado en pasam. Reservoirio



Resultado en pasam. Reservoirio

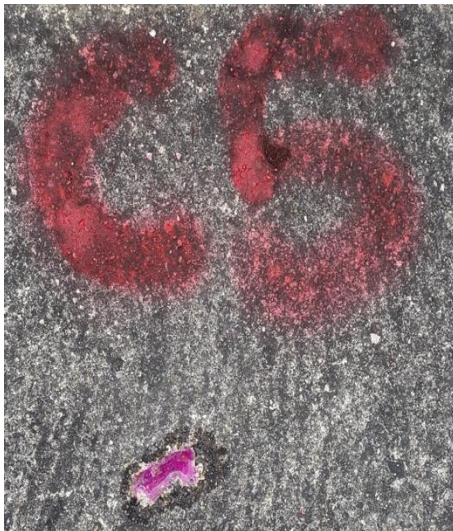


Resultado en pasam. Reservoirio

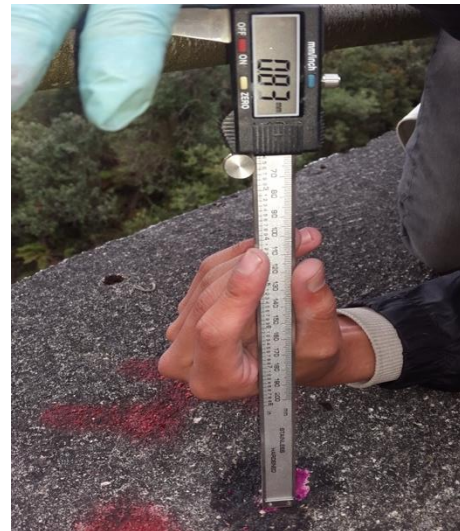


Resultado en pasam. Reservoirio





Muestra, antes de medirla, Reservoir



Resultado en Labrado



Resultado en Reservoir



Resultado en Reservoir



Resultado en Reservoir



Resultado en Reservoir





Muestra, antes de medirla, Reservorio



Muestra, antes de medirla en Canal



Resultado en Canal



Resultado en Chanlud



Muestra, antes de medirla. Chanlud



Resultado en Chanlud



**ANEXO 3.** Ensayo de Potencial de Corrosión en las distintas infraestructuras.

Localización de varilla, Labrado



Varilla lista para ensayo, Labrado



Ensayo, Labrado



Relleno de agujero con mortero



Localización de varilla, Chanlud



Ensayo, Chanlud





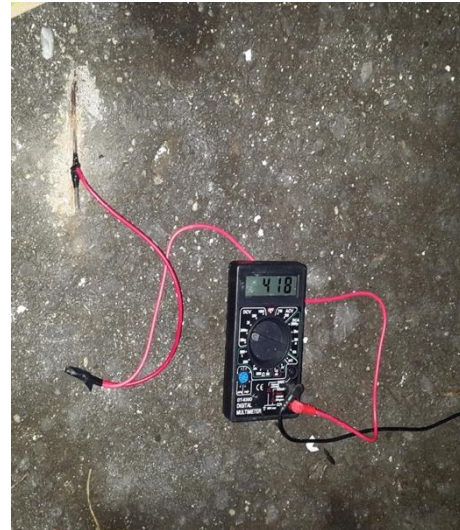
Ensayo, Chanlud



Ensayo, Chanlud



Varilla lista para ensayo, Reservorio



Ensayo, Reservorio

**ANEXO 4.** Ensayo de Adherencia en las distintas infraestructuras.

Reparación de adhesivo epóxico



Colocación de equipo



Pastilla con epóxico, pasam. Reser.



Pastilla con epóxico, pasam. Reser.



Colocación de pastilla, Chanlud



Colocación de pastilla, Chanlud





Resultado de ensayo, Labrado



Tipo de falla, Labrado



Resultado de ensayo, Labrado



Tipo de falla, Labrado



Resultado de ensayo, Labrado



Tipo de falla, Labrado





Resultado de ensayo, Labrado



Tipo de falla, Labrado



Resultado de ensayo, pasam. Reser



Tipo de falla, pasam. Reservorio



Resultado de ensayo, pasam. Reser

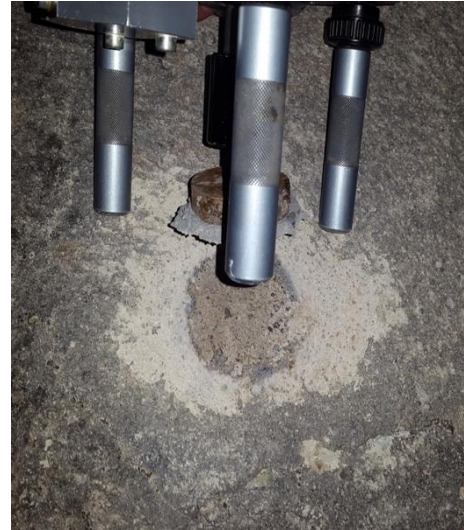


Tipo de falla, pasam. Reservorio





Resultado de ensayo, pasam. Reser



Tipo de falla, pasam. Reservorio



Resultado de ensayo, Reservorio



Tipo de falla, Reservorio



Resultado de ensayo, Reservorio



Tipo de falla, Reservorio





Resultado de ensayo, Reservorio



Tipo de falla, Reservorio



Resultado de ensayo, Reservorio



Tipo de falla, Reservorio



Resultado de ensayo, Reservorio



Tipo de falla, Reservorio





Resultado de ensayo, Reservorio



Tipo de falla, Reservorio



Resultado de ensayo, Chanlud



Tipo de falla, Chanlud



Resultado de ensayo, Chanlud



Tipo de falla, Chanlud





Resultado de ensayo, Chanlud



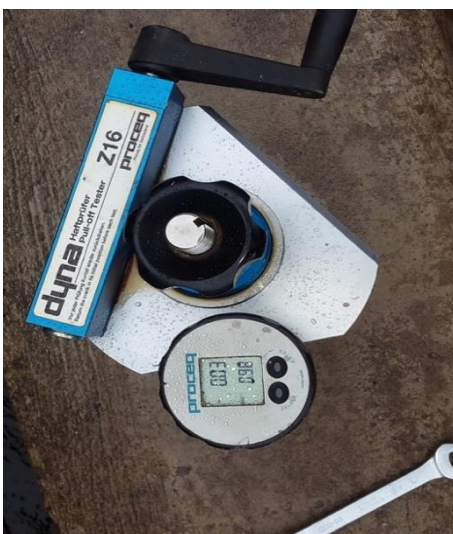
Tipo de falla, Chanlud



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción





Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción





Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción





Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción





Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado de ensayo, Canal



Tipo de falla, Canal de conducción



Resultado y tipo de falla, Canal

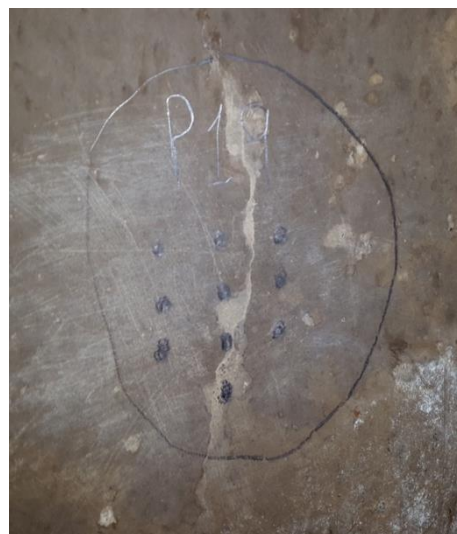


Resultado y tipo de falla, Canal



**ANEXO 5.** Ensayo Esclerométrico en las distintas infraestructuras.

Muestra, dentro de C. conducción



Muestra, dentro de C. conducción



Muestra, dentro de C. conducción



Muestra, dentro de C. conducción



Muestra, dentro de C. conducción



Resultado en Azud E. de Peces





Preparación de terreno con pulidora



Muestra en Reservorio de Tuñi



Muestra en Reservorio de Tuñi



Muestra en Reservorio de Tuñi



Muestra en Reservorio de Tuñi



Muestra en Reservorio de Tuñi



**ANEXO 6.** Ensayo de Núcleos Perforados en las distintas infraestructuras.

Extractor de núcleos



Generador



Detector de acero de refuerzo



Detector de acero de refuerzo



Diagrama de aceros en Chanlud



Colocado de tornillo de fijación, Azud





Extracción de núcleo en Azud



Extracción de núcleo en Reservoirio



Núcleo extraído, pasam. reservoirio



Núcleo extraído, pasam. reservoirio



Núcleo extraído, pasam. reservoirio



Núcleo extraído, pasam. reservoirio





Espesor de hormigón, Reservorio



Espesor de hormigón, pasam. Reser.



Mortero para cubrir la extracción



Preparación de mortero



Relleno de extracción, Reservorio



Relleno de extracción, Reservorio





Relleno de extracción, Reservorio



Relleno de extracción, Reservorio



Relleno de extracción, Azud

## ANEXO 7. Termografía Infrarroja.



Fotografía infrarroja en El Labrado



Fotografía infrarroja en El Labrado



Fotografía infrarroja en El Labrado



**ANEXO 8.** Ensayo de Ultrasonido en las distintas infraestructuras.

Condición del hormigón



Condición del hormigón



Condición del hormigón



Condición del hormigón



Condición del hormigón



Condición del hormigón





Condición del hormigón



Profundidad de fisura



Profundidad de fisura